



Universidade de Aveiro Departamento de Geociências  
2009

**Maria Inês Esteves  
Saraiva**

**Controlo de Qualidade: Agregados e Obra  
Rodoviária**



**Maria Inês Esteves  
Saraiva**

**Controlo de Qualidade: Agregados e Obra  
Rodoviária**

Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Georecursos, realizada sob a orientação científica do Doutor Manuel João Senos Matias, Professor catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho à minha avó, pessoa essencial no meu crescimento.

## **o júri**

presidente

**Prof. Jorge Manuel Pessoa Girão Medina**

Professor auxiliar do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

**Prof. Dr. Manuel João Senos Matias**

Professor catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

**Prof. Dr. Fernando Antunes Gaspar Pita**

Professor auxiliar do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra

## **agradecimentos**

A realização deste relatório de estágio permitiu-me evoluir e aprofundar conhecimentos estudados ao longo do curso. Agradeço a todos aqueles que de alguma forma me apoiaram e incentivaram.

Desta forma gostaria de expressar o meu agradecimento:

- Ao Eng.º Eduardo Lopes pela oportunidade de estagiar no Grupo Júlio Lopes.
- À Eng.º Filipa Gomes, minha orientadora na empresa, pela forma dedicada e prestável que me orientou e acompanhou a minha evolução ao longo do estágio.
- Ao Prof. Doutor Manuel João Senos Matias, meu orientador na universidade.
- À Eng.º Sónia Feijão, companheira de laboratório, pelo precioso apoio e ensinamentos práticos no laboratório.
- Aos meus colegas do Grupo Júlio Lopes pela forma como me receberam e ajudaram.
- À minha família, especialmente aos meus pais, pelo apoio incondicional ao longo das diferentes etapas atingidas e vividas.
- Ao Rui Lopes, pela dedicação, paciência e ajuda demonstrada.
- Aos meus amigos pelo apoio dispensado.

**palavras-chave**

Agregados, pedreira, exploração, desmonte, transporte, produção, controlo de qualidade, ensaios laboratoriais, misturas betuminosas.

**resumo**

O presente relatório de estágio apresenta uma abordagem aos sistemas de extracção, desmonte e transporte realizados na pedreira Iberobrita, SA, focalizando-se no controlo de qualidade do produto acabado e elaboração dos registos associado aos ensaios laboratoriais.

No decorrer do estágio, houve ainda oportunidade, de contactar com a empresa construções Júlio Lopes, SA, através da realização de ensaios no controlo de qualidade de matérias-primas e trabalhos de terraplanagem e pavimentação, realizando para isso, ensaios em laboratório e um ensaio *in situ*.

Como a empresa, Construções Júlio Lopes, SA possui uma central de misturas betuminosas, foi possível a elaboração de um estudo de uma mistura betuminosa em laboratório e o controlo do nível de conformidade da central de misturas betuminosas.

**keywords**

Aggregates, quarry, operation, blasting, transport, production, quality control, laboratory testing, bituminous mixtures..

**abstract**

The present report gives an account of the training in a limestone quarry. The report can be divided into two parts. In the first part the blasting, transports and the preparation of raw materials in descried. In the second part, relevant laboratory quality test (in according with European Standards) are described the results given and discussed.

Finally, quality control of bituminous mixtures and of particular in situ test is.

## Índice

1.	Considerações Iniciais .....	7
1.1.	Enquadramento .....	7
1.2.	Objectivos.....	8
1.3.	Organização do trabalho.....	8
2.	Exploração de Agregados – Iberobrita, SA .....	10
2.1.	Apresentação da Iberobrita, SA .....	10
2.2.	Sistema de Extracção, Desmonte e Transporte .....	13
2.3.	Método de desmonte .....	21
2.3.1.	Dimensão dos degraus.....	21
2.3.2.	Pega de fogo .....	22
2.4.	Extracção e transporte.....	37
2.5.	Processo produtivo .....	38
2.5.1.	Fragmentação e classificação .....	38
2.5.2.	Equipamentos.....	40
2.5.2.1.	Alimentador ou tremonha .....	40
2.5.2.2.	Fragmentador de maxilas.....	40
2.5.2.3.	Impactador primário ou moinho impactor .....	41
2.5.2.4.	Moinho de martelos.....	42
2.5.2.5.	Crivo vibratório.....	42
2.5.2.6.	Telas transportadoras .....	43
2.5.3.	Diagramas de tratamento .....	44
2.6.	Caracterização dos agregados produzidos .....	49
3.	Apresentação do Laboratório do Grupo Júlio Lopes .....	51
3.1.	Organização .....	51
3.2.	Campo de actividade .....	51



3.3.	Sistema de Qualidade .....	54
3.4.	Descrição do laboratório e equipamentos disponíveis .....	54
3.5.	Documentação .....	61
3.6.	Controlo de qualidade de agregados .....	61
3.6.1.	Amostragem .....	62
3.6.2.	Repartição de amostras.....	63
3.6.3.	Ensaio realizados.....	64
3.6.3.1.	Ensaio da análise granulométrica .....	64
3.6.3.2.	Ensaio do Equivalente de Areia .....	65
3.6.3.3.	Ensaio do Valor de Azul-de-metileno .....	67
3.6.3.4.	Ensaio do Índice de Achatamento.....	68
3.6.3.5.	Ensaio do Índice de Forma .....	69
3.6.3.6.	Ensaio do Desgaste de <i>Los Angeles</i> .....	70
3.6.3.7.	Ensaio da Baridade e do Volume de vazios .....	71
3.6.3.8.	Ensaio da Massa Volúmica e da absorção de água .....	72
4.	Ensaio realizados a material proveniente de obra.....	75
4.1.	Apresentação da empresa Construções Júlio Lopes, SA.....	75
4.2.	Descrição da obra.....	75
4.3.	Ensaio realizados em laboratório .....	75
4.3.1.	Análise granulométrica .....	76
4.3.2.	Determinação do Equivalente de Areia.....	77
4.3.3.	Determinação do Azul-de-metileno.....	78
4.3.4.	Determinação dos Limites de Consistência .....	79
4.3.5.	Determinação do Teor em água .....	81
4.3.6.	Massa Volúmica e Absorção de Água .....	82
4.3.7.	Determinação do ensaio de compactação.....	84
4.3.8.	Ensaio do C.B.R. ....	85
4.3.9.	Ensaio de compressão do betão.....	86

4.4.	Ensaio realizado <i>in situ</i> .....	87
4.5.	Central de Misturas Betuminosas .....	87
4.5.1.	Determinação da percentagem de superfícies esmagadas e partidas nos agregados grossos de seixo. ....	92
4.5.2.	Ensaio de misturas betuminosas realizadas em laboratório .....	92
4.5.2.1.	Recolha e repartição da amostra de mistura betuminosa .....	92
4.5.2.2.	Moldagem de provetes Marshall da mistura betuminosa .....	93
4.5.2.3.	Determinação da densidade aparente dos provetes betuminosos pelo método hidrostático .....	94
4.5.2.4.	Ensaio da Compressão de Marshall para a mistura betuminosa .....	94
4.5.2.5.	Determinação da percentagem de betume da mistura betuminosa .....	95
4.5.2.6.	Determinação da granulometria da mistura betuminosa .....	97
4.5.2.7.	Elaboração de um estudo para macadame betuminoso, em laboratório, para a obra nº 770 - EN 2 – Sertã (IC8/ Vila de Rei – beneficiação entre km 3+900 e 12+900 e o Km15+00 e o 20+343) .....	98
4.5.2.7.1.	Apresentação do estudo .....	98
4.5.2.7.2.	Recolha das matérias-primas .....	99
4.5.2.7.3.	Determinação da granulometria de cada agregado .....	100
4.5.2.7.4.	Ensaio de várias misturas betuminosas com diferentes percentagens de betume	100
4.5.2.7.5.	Determinação da baridade máxima teórica pelo método do picnómetro de vácuo	101
5.	Conclusões .....	103
6.	Bibliografia .....	105
Anexos	.....	108

## Índice de figuras:

Figura 1 - Localização da pedreira Iberobrita, SA (Imagem retirada do Google Maps 2009). .....	10
Figura 2 - Localização da Iberobrita, SA (Excerto da carta topográfica nº 274/2 ). .....	11
Figura 3 - Localização geológica da pedreira Iberobrita, SA (Excerto da carta geológica de Portugal folha 23- A). .....	11
Figura 4 - Vista geral da pedreira Iberobrita, SA, com a identificação das instalações. ....	13
Figura 5 - Perfuração para a pega de fogo. ....	14
Figura 6 - Carregamento de explosivos. ....	15
Figura 7 - Desmonte da bancada. ....	15
Figura 8 - Carga de material da frente de desmonte. ....	15
Figura 9 - Transporte do material da frente de desmonte para as instalações de britagem. ....	16
Figura 10 - Abastecimento de uma instalação de britagem (IB 04). ....	16
Figura 11 - Estágio primário da instalação IB04 e britador de maxilas. ....	16
Figura 12 - Pré stock presente na instalação IB04. ....	17
Figura 13 - Instalação de britagem IB04. ....	17
Figura 14 - Carga do produto armazenado em pinha, com pá carregadora. ....	18
Figura 15 - Carga do produto armazenado em silo. ....	18
Figura 16 – Pesagem e Rega das cargas. ....	18
Figura 17 - Pesagem para a expedição administrativa. ....	19
Figura 18 - Frota da Iberobrita, S.A. ....	19
Figura 19 - Martelo, utilizado para a realização do taqueio. ....	25
Figura 20 – Exemplo de um cartucho do grupo da dinamite. ....	26
Figura 21 - Exemplo de explosivos utilizados na Iberobrita, SA. ....	27
Figura 22 - Detonador e cordão utilizados na pega de fogo. ....	28
Figura 23 - a) Ohmímetro; b) Explosores (Adaptada do catalogo da Maxman 2008). ....	28
Figura 24 - Esquema dos parâmetros utilizados no dimensionamento de uma pega de fogo .....	30
Figura 25 - Sequência de fotografias para o carregamento de um furo: .....	35
Figura 26 - Detonadores ligados à superfície. ....	36
Figura 27 - Colocação de explosivos utilizando manga de plástico. ....	36
Figura 28 - Detonação da pega de fogo. ....	37

Figura 29 - Esquema de um sistema de transporte aplicado a pedreira.....	38
Figura 30 - Esquema de um moinho impactor.....	41
Figura 31 - Esquema de um moinho de martelo. ....	42
Figura 32 - Diagrama de processamento da instalação IB 01. ....	45
Figura 33 - Diagrama de processamento da instalação IB 02. ....	46
Figura 34 - Diagrama de processamento da instalação IB 03. ....	47
Figura 35 - Diagrama de processamento da instalação de britagem IB 05. ....	47
Figura 36 - Diagrama de processamento da instalação IB 04. ....	48
Figura 37 – Exemplos de alguns agregados produzidos na Iberobrita, SA. ....	50
Figura 38 - Vista geral da 1ª sala do Laboratório. ....	56
Figura 39 - Vista geral da 2ª sala do Laboratório. ....	58
Figura 40 - Vista geral da 3ª sala do laboratório. ....	59
Figura 41 - Vista geral da 4ª sala do laboratório. ....	60
Figura 42 - Recolha e identificação de amostras. ....	62
Figura 43 - Repartição da amostra, com o recurso a um repartidor. ....	63
Figura 44 - Elaboração da análise granulométrica. ....	64
Figura 45 - Provetas utilizadas na realização do ensaio do equivalente de areia.....	66
Figura 46 - Equipamento utilizado no Ensaio do Azul-de-metileno.....	67
Figura 47 - Peneiros de barras. ....	69
Figura 48 - Realização do ensaio do índice de forma com a ajuda do paquímetro. ....	69
Figura 49 - Máquina de <i>Los Angeles</i> . ....	71
Figura 50 - Equipamento para a realização do ensaio da baridade.....	72
Figura 51 - Equipamentos utilizados para a determinação da massa volúmica pelo método do cesto de rede metálica. ....	73
Figura 52 - Determinação da massa volúmica pelo método do picnómetro. ....	73
Figura 53 - Peneiros de ensaio ASTM utilizados para o ensaio da análise granulométrica. ....	76
Figura 54 - Realização do ensaio do equivalente de areia.....	77
Figura 55 - Leitura do resultado do ensaio do equivalente de areia ( $h_1, h_2$ ). ....	77
Figura 56 - Realização do Ensaio do azul-de-metileno. ....	78
Figura 57 - Realização do ensaio para a determinação do limite de plasticidade.....	79
Figura 58 - Gráfico representativo do cálculo do limite de liquidez.....	80
Figura 59 - Representação gráfica do ensaio de compactação, através do qual se interpola o valor da baridade máxima e o teor óptimo em água.....	85
Figura 60 - Equipamento utilizado para a compressão dos cubos de betão.....	86

Figura 61 - Sonda nuclear, utilizada para ver a compactação do solo e teor em água.....	87
Figura 62 - Central de misturas betuminosas.....	88
Figura 63 - Vista geral da central de misturas betuminosas. ....	88
Figura 64 - Armazenamento dos materiais. ....	89
Figura 65 - Abastecimento dos silos do sistema pré-doseador. ....	89
Figura 66 - Secador de agregados.....	90
Figura 67 - Sistema de controlo da central de misturas betuminosas. ....	90
Figura 68 - Grupo reselectionador-doseador-misturador. ....	90
Figura 69 - Descarga e armazenamento do Betão Betuminoso. ....	91
Figura 70 - Expedição do produto. ....	91
Figura 71 - Recolha de mistura betuminosa na central de misturas betuminosas. ....	93
Figura 72 - Compactador utilizado na elaboração dos provetes de Marshall. ....	93
Figura 73 - Prensa de Marshall.....	95
Figura 74 - Mufla utilizada para a determinação da percentagem de betume. ....	96
Figura 75 - Determinação da percentagem de betume pelo método da centrifugação. ....	96
Figura 76 - Elaboração de uma mistura betuminosa e preparação dos provetes de Marshall.....	101
Figura 77 - Sequência de fotografias do ensaio do Picnómetro de vácuo. ....	102

### Índice de Tabelas

Tabela 1 - Ensaios Realizados no Laboratório do Grupo Júlio Lopes. ....	51
Tabela 2 - Ensaios que a estagiária realizou no Laboratório do Grupo Júlio Lopes. ....	53
Tabela 3 - Plano de inspeção e ensaio da Iberobrita, SA.....	110

## 1. Considerações Iniciais

### 1.1. Enquadramento

Este relatório surge no âmbito do estágio curricular para a finalização do 2º ciclo de Bolonha do Curso de Engenharia Geológica da Universidade de Aveiro.

O estágio curricular foi realizado no Grupo Júlio Lopes do qual fazem parte as empresas Iberobrita, SA, Construções Júlio Lopes, SA, Consbal, SA e Voimarães, SA estas últimas que se dedicam ao sector imobiliário.

A empresa Iberobrita, SA foi fundada em 1971 e tem como actividade principal a extracção, produção e comercialização de agregados de calcário com uma produção aproximada de 2 milhões de toneladas/ano, valor estimado em função dos consumos, que naturalmente estão dependentes da evolução da economia nacional a qual, obviamente, está condicionada pela dinâmica dos mercados á escala internacional.

Com o seu crescimento e desenvolvimento e com vista a promover a sua qualidade e preocupações ambientais, a Iberobrita, SA desenvolveu-se de forma a obter os seguintes certificados: Norma NP EN ISSO 9001:2000, OHSAS 18001:1999/NP4397:2001, NP EN ISSO 14001:2004, EMAS sendo os seus produtos reconhecidos com marcação CE.

Nos seus mais de 35 anos de actividade a Iberobrita, SA forneceu e continua a fornecer algumas das obras mais emblemáticas do país, sendo reconhecida como uma empresa de referência no sector de actividade, quer pelo seu volume de produção quer pela qualidade dos seus produtos.

A empresa Construções Júlio Lopes, SA iniciou a sua actividade na década de 60, sendo a principal actividade as Obras Públicas.

A empresa, possui ainda, uma central de misturas betuminosas do tipo descontínuo com capacidade de produção cifrada em 1700t/dia e uma central de betão hidráulico.

## 1.2. Objectivos

O objectivo central deste relatório de estágio é o da realização de ensaios de Controlo de Qualidade da Iberobrita, SA, bem como o controlo de qualidade dos ensaios da Obra nº 770 EN 2 – Sertã (IC8/ Vila de Rei – beneficiação entre km 3+900 e 12+900 e o Km15+00 e o 20+343) e ainda a criação de folhas de cálculos dos ensaios realizados conforme as normas utilizadas.

O controlo de qualidade desenvolvido pela Iberobrita, SA tem como base as normas vigentes que ditam a quantidade e quais os tipos de ensaios laboratoriais a realizar, para avaliar a conformidade do produto e se estes cumprem com os requisitos definidos nas fichas de características técnicas dos produtos.

O controlo de qualidade em Obra tem como base resultados de ensaios laboratoriais e “*in situ*” que tem de estar de acordo com o projecto e o caderno de encargos da Obra.

Neste relatório, serão ainda descritos os vários processos utilizados na pedreira, caracterizando os processos de extracção, desmonte e transporte.

Fazer-se-á uma breve referência ao processo produtivo, aos tipos de equipamentos utilizados, aos diagramas de tratamento e dar-se-á um exemplo tipo de uma pega de fogo.

Com este trabalho pretende-se sublinhar a importância do controlo de qualidade em laboratório e contribuir para um melhor conhecimento dos métodos de ensaio utilizados no controlo de produção em fábrica de agregados, misturas betuminosas e controlo de qualidade em obra.

## 1.3. Organização do trabalho

Nesta secção descreve-se a forma como se organizou o trabalho para concretizar os objectivos propostos.

O presente trabalho está organizado em 6 capítulos, neste primeiro capítulo – considerações iniciais, tecem-se algumas considerações gerais relativamente ao

objectivo do relatório de estágio, enquadramento, descrição da estrutura e conteúdo dos capítulos.

No segundo capítulo – Exploração de Agregados, Iberobrita SA, faz-se uma apresentação da Iberobrita, SA, descrição do sistema de extracção, desmonte e transporte, referência ao processo produtivo para a produção de agregados, diagramas de tratamento e por fim caracterização dos agregados produzidos.

O terceiro capítulo – Apresentação do Laboratório do Grupo Júlio Lopes, faz-se referência a organização do laboratório, campo de actividade, descrição detalhada do laboratório, dos equipamentos disponíveis e dos ensaios realizados para o controlo de qualidade dos agregados produzidos em fábrica.

No quarto capítulo – Construções Júlio Lopes, SA, faz-se uma apresentação da empresa Construções Júlio Lopes, SA, da obra nº 770 – EN 2 – Sertã, e da central de misturas betuminosas, bem como a descrição dos ensaios realizados em laboratório e *in situ* quer para a obra quer para as misturas betuminosas.

O quinto capítulo – conclusões, é feita uma síntese das principais conclusões do relatório de estágio.

Por fim, no sexto capítulo faz-se referência a bibliografia utilizada para a realização deste relatório de estágio.



1. *Journal of the American Medical Association*, 1997; 277: 1039-1043.



1. *Journal of the American Medical Association*, 1997; 277: 1039-1043.

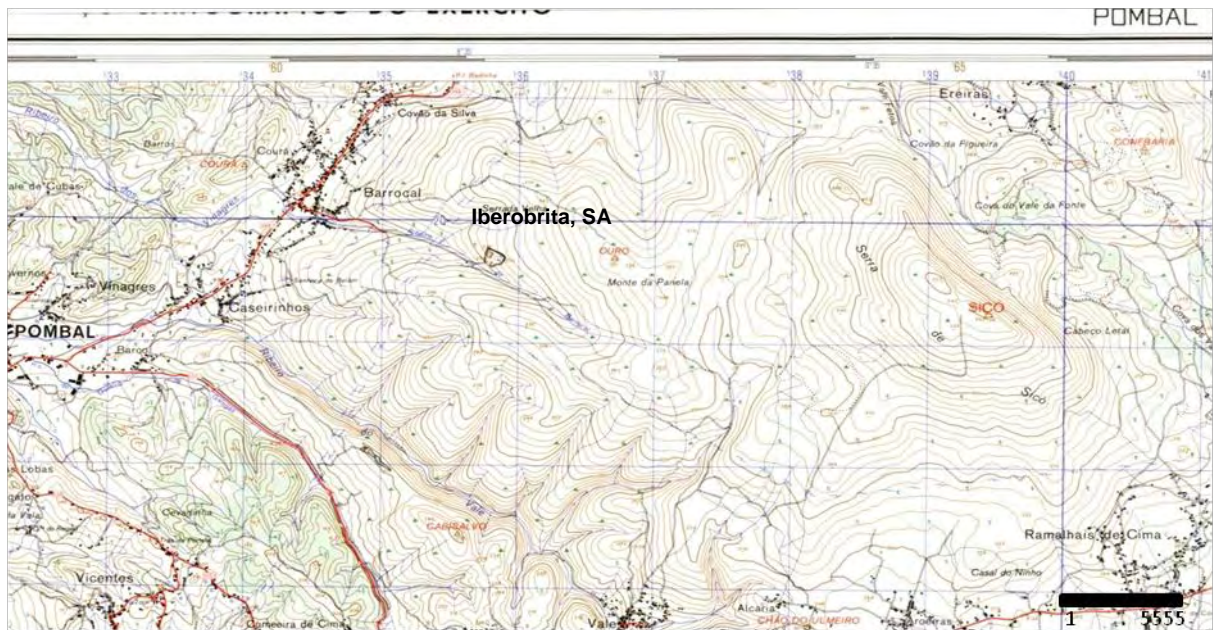


Figura 2 - Localização da Iberobrita, SA (Excerto da carta topográfica nº 274/2 ).

A pedra Iberobrita, SA, situa-se na Serra do Sicó, e encontra-se abrangida pela carta geológica de Portugal à escala 1/50000 (folha 23-a) (Figura 3).



Figura 3 - Localização geológica da pedra Iberobrita, SA (Excerto da carta geológica de Portugal folha 23- A).

Todo o processo produtivo é desenvolvido tendo em conta a valorização técnico-económica da exploração, aproveitamento sustentável do recurso, segurança e saúde dos trabalhadores, minimização do impacto ambiental e recuperação paisagística da área intervencionada.

A Segurança é uma das preocupações essenciais da Iberobrita, SA, como tal, a empresa tem implementada uma eficaz estrutura de prevenção dos acidentes de trabalho e doenças profissionais. A base desta estrutura, assenta numa identificação dos perigos e avaliação dos riscos, elaborada segundo uma metodologia desenvolvida internamente, aplicada, não só às actividades de rotina como às actividades de carácter excepcional. Desta aplicação resulta a definição da aceitabilidade de cada risco considerado. Para os riscos considerados não aceitáveis, estão definidos Planos de Monitorização e Prevenção que estruturam as actividades de controlo a efectuar de acordo com um procedimento documentado definido para o efeito. Esta estrutura é operacionalizada por uma equipa de Técnicos Superiores de Higiene e Segurança do Trabalho pertencentes aos quadros da Organização.

A Iberobrita, SA definiu uma metodologia para a identificação e avaliação dos aspectos ambientais resultantes da sua actividade, com base em rigorosos critérios para a determinação dos respectivos impactos ambientais.

O desempenho ambiental é acompanhado periodicamente, bem como o cumprimento dos objectivos e metas ambientais estabelecidas. Os dispositivos de monitorização e medição são verificados e calibrados de modo a garantir a fiabilidade das medições. Na sequência destas monitorizações são investigados e tratados os desvios, sendo sempre que necessário tomadas as medidas para corrigir ou prevenir situações indesejadas. No sentido de minimizar todos os aspectos ambientais a Iberobrita, SA procura sensibilizar ambientalmente os seus colaboradores.

A Iberobrita, SA, ocupa uma área total de 78.5 hectares, onde estão presentes cinco instalações de britagem (Figura 4), instalações sanitárias, oficina para arranjo de equipamentos, escritório para a expedição dos agregados e a zona a explorar.





Figura 4 - Vista geral da pedreira Iberobrita, SA, com a identificação das instalações.

### 2.2. Sistema de Extracção, Desmonte e Transporte

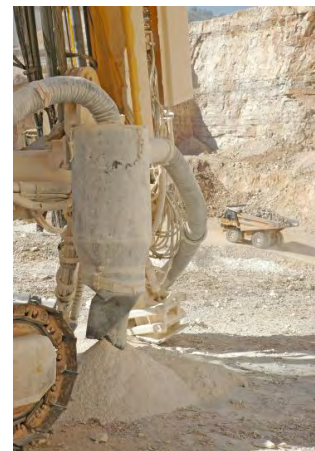
Na Iberobrita, SA é feita uma avaliação contínua dos processos de extracção, desmonte e transporte, para a sua optimização de forma a conseguir responder à competitividade do mercado e às exigências, cada vez mais apertadas, dos clientes.

Como o calcário é aflorante os trabalhos de desmatção e decapagem são reduzidos, pois os volumes de terra vegetal e/ou estéreis e de vegetação são quase inexistentes.

A extracção do calcário é a céu aberto, o desmonte realizado em degraus direitos, de cima para baixo e o arranque é feito com o recurso a explosivos, o carregamento da rocha desmontada é feito com pás carregadoras e giratórias para *dumpers*, que fazem o transporte do material, para as instalações de britagem.

O processo produtivo contempla as seguintes fases:

- **Extracção:**
  - Decapagem;
  - Perfuração (Figura 5);
  - Carregamento de explosivos (Figura 6);
  - Detonação (Figura 7);
- **Movimento da pedra:**
  - Carga (Figura 8);
  - Transporte para o abastecimento das instalações de britagem (Figura 9);
  - Descarga (Figura 10);
- **Fabrico:**
  - Estágio de fragmentação (Figura 11);
  - Estágio de selecção e transporte entre estágios (Figura 12 e Figura 13);
- **Armazenamento:** em silos ou em pilha (Figura 13).
- **Expedição:**
  - Carga (Figura 14 e Figura 15);
  - Pesagem e rega dos camiões (Figura 16);
  - Expedição administrativa e transporte assegurado por 35 viaturas (Figura 17 e Figura 18).



**Figura 5 - Perfuração para a pega de fogo.**





**Figura 6 - Carregamento de explosivos.**



**Figura 7 - Desmonte da bancada.**



**Figura 8 - Carga de material da frente de desmonte.**





**Figura 9 - Transporte do material da frente de desmonte para as instalações de britagem.**



**Figura 10 - Abastecimento de uma instalação de britagem (IB 04).**



**Figura 11 - Estágio primário da instalação IB04 e britador de maxilas.**





**Figura 12 - Pré stock presente na instalação IB04.**



**Figura 13 - Instalação de britagem IB04.**





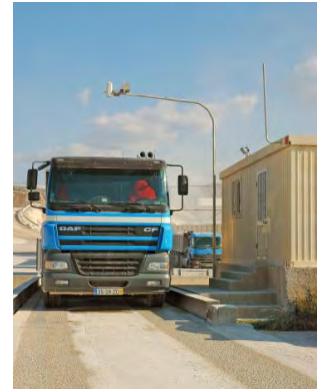
**Figura 14 - Carga do produto armazenado em pinha, com pá carregadora.**



**Figura 15 - Carga do produto armazenado em silo.**



**Figura 16 – Pesagem e Rega das cargas.**



**Figura 17 - Pesagem para a expedição administrativa.**



**Figura 18 - Frota da Iberobrita, S.A.**

A actividade “extracção” tem como principal objectivo a desagregação de rocha, com recurso a explosivos, em tamanho praticável para o seu manuseamento, por parte das unidades de carga e por parte do britador primário na fragmentação.

É uma actividade importante, já que a actividade posterior, Movimentação de Pedra, depende de factores como por exemplo: piso regular, controlado pela qualidade de perfuração, e grau de fragmentação da rocha desmontada, controlado pelo consumo de explosivo.

A actividade “movimentação da pedra” é realizada com recurso a dois tipos de equipamentos:

- Unidades de Carga (Pás carregadoras e escavadoras);
- Unidades de Transporte (*dumpers*).

Esta actividade contempla duas tarefas que exigem elevado sincronismo, são elas:

- Carga;
- Descarga.

Este sincronismo é importante para diminuir, os tempos de espera entre carga e descarga, aumentando o rendimento de trabalho dos equipamentos, e deve ser controlado de forma a não haver cruzamento de *dumpers*, quando a largura das pistas de circulação, em determinados pontos, o não permitem.

A actividade seguinte é a de “fabrico” que contempla as fases de fragmentação, selecção e transporte entre estágios a qual controla duas unidades de processamento:

- Tremonha + alimentador;
- Britador primário.

Durante esta actividade, tem que se ter em atenção, prevenir o insuficiente abastecimento de pedra e os encravamentos do britador primário.

O insuficiente abastecimento de pedra resulta do transporte ineficaz, isto é, da chegada intermitente da pedra à tremonha.

Os encravamentos do britador primário acontecem, devido ao carregamento de blocos desmontados com dimensões superiores à boca do britador e/ou da abundância de pedra graúda mas com dimensões inferiores à boca do britador, a qual é arrastada pelo alimentador para a câmara de fragmentação do britador em quantidade excessiva.

Para que tais paragens de tratamento de pedra não se reflectam nas operações seguintes, fragmentação e classificação, existe o pré-stock de pedra britada.

Após o fabrico, vem a actividade de “armazenamento”. O armazenamento pode ser feito em pilhas ou em silo, dependendo do tipo de produto.

Por fim, realiza-se a actividade de “expedição” do produto que contempla a carga, pesagem, expedição administrativa e transporte do produto.

### 2.3. Método de desmonte

Como o jazigo é aflorante, existem zonas onde não é necessária a remoção das terras de cobertura. No entanto, se tal for necessário, a remoção é feita previamente e para uma distância conveniente do bordo superior da pedreira, de forma a não interferir nos trabalhos e com vista à sua reutilização na recuperação ambiental.

A frente de desmonte é conduzida por degraus múltiplos, e no plano de exploração de cada degrau, o seu desmonte particular realiza-se em frentes corridas paralelas.

O desmonte é realizado por pegas de fogo, nas frentes de desmonte, para o arranque da rocha.

#### 2.3.1. Dimensão dos degraus

A dimensão dos degraus das bancadas deve ser realizada de forma a garantir a segurança na execução dos trabalhos, cumprindo as seguintes regras:

- A altura dos degraus deve ser inferior a 15m;
- Na base de cada degrau deve existir um patamar, com cerca de 2m de largura, para permitir a execução dos trabalhos e a circulação dos trabalhadores em segurança;
- Os trabalhos de arranque num degrau, só poderão ser retomados, após a remoção completa dos escombros do arranque anterior.

Na Iberobrita, SA, os degraus têm uma dimensão média de 15m de altura e com uma largura média de 10m.

### 2.3.2. Pega de fogo

A quantidade e o tipo de explosivos a utilizar numa pega de fogo depende das suas propriedades, das dimensões e posicionamento dos furos e ainda do tipo de rocha a desmontar, por isso deve ter-se em conta:

➤ Produção por pega de fogo

Depende de exploração para exploração, pois representa a quantidade de material a extrair.

➤ Propriedades da rocha:

- Homogeneidade - características do maciço, identificação de estratificação, diáclases, falhas, cavidades na rocha, entre outros.
- Dureza – tipo de rocha e qual a sua resistência, propriedade que poderá ser avaliada durante a furação.
- Densidade – peso por unidade de volume da rocha a perfurar.
- Fragilidade – forma como a rocha se comporta sob o efeito de pressão.

➤ Propriedades dos explosivos:

- Velocidade de detonação – velocidade com que as ondas de choque se propagam na coluna do explosivo.
- Densidade – relaciona a quantidade de explosivo que um furo contém, e qual a possibilidade de se afundar em água.



- Pressão de detonação – esta pressão deve ser superior à pressão do explosivo.
  - Energia – medida do potencial do explosivo.
  - Potência – capacidade do explosivo para fazer o trabalho.
  - Resistência à água – caso o furo tenha água, identifica o número de horas que o explosivo pode estar na água.
  - Sensibilidade à detonação – quantidade mínima de energia necessária para iniciar o explosivo. Geralmente é expressa pelo número da cápsula detonadora que pode iniciar o explosivo.
  - Sensibilidade à propagação – distância máxima, no ar, a que meio cartucho, consegue explodir outro meio cartucho.
  - Inflamabilidade – facilidade com que o explosivo pode ser iniciado.
- Características da pega de fogo:
- Altura da bancada – distância vertical entre a base e o topo da bancada.
  - Altura da carga – comprimento do furo ocupado pela carga explosiva.
  - Distância à fase livre – distância entre o furo e a frente livre ou então a distância entre fiadas de furos consecutivos, medidos na perpendicular ao furo.
  - Espaçamento – distância entre dois furos consecutivos medida paralelamente à frente livre.
  - Diâmetro do furo – É o diâmetro mínimo verificado após a execução do furo. Depende das características da rocha a ser desmontada, do grau de

fragmentação requerida, da altura da bancada e do tipo de equipamento utilizado para a realização do furo.

- Comprimento do furo - é a distância entre a boca e o fundo do furo. Dimensiona-se de acordo com o diâmetro do furo escolhido, com a inclinação do furo, com a altura da bancada e com a subfuração.
- Inclinação do furo – ângulo agudo medido entre o furo e a horizontal. A utilização de furos inclinados apresenta melhores vantagens em relação a furos direitos, pois torna as bancadas mais seguras, melhora a fragmentação, verifica-se uma maior produção, diminuição do consumo de explosivos e menores vibrações.
- Subfuração - comprimento do furo abaixo do nível de base da bancada de forma a facilitar a execução da pega de fogo. Varia conforme a distância à face livre e inclinação dos furos.
- Número de furos
- Número de fiadas – número de furos dispostos na mesma linha paralela à frente livre.
- Atacamento - geralmente tem o mesmo comprimento que a distância à frente livre, para não formar blocos grandes provenientes da parte superior da bancada. Normalmente o atacamento é feito com o pó resultante da furação.

Um bom dimensionamento da pega de fogo, permite que o material resultante da pega de fogo seja homogéneo, diminuindo a hipótese de resultarem blocos de dimensões superiores às esperadas, que quando não detectados e transportados para o sistema de britagem podem obstruir a boca do britador primário. Quando detectados, estes blocos são removidos, da frente de desmonte, e transportados para um local onde seja possível a realização do seu taqueio, de forma a não condicionar os trabalhos.

O taqueio realiza-se com a ajuda de um martelo (Figura 19), que parte os blocos de calcário de forma a permitir a sua entrada sem dificuldade no alimentador.



**Figura 19 - Martelo, utilizado para a realização do taqueio.**

O fornecimento dos explosivos é feito por uma empresa qualificada, que se compromete a recolher o explosivo excedente, neste caso, até à recolha o explosivo é guardado num paiol móvel que a pedreira possui.

O fornecimento dos explosivos é feito directamente para a frente a desmontar no próprio dia, e a carrinha que transporta os explosivos é sempre acompanhada por um agente da autoridade.

A encomenda dos explosivos, normalmente é feita no dia anterior, de forma a prevenir os excedentes.

Usualmente, as pegas de fogo são realizadas dia sim, dia não, da parte da manhã.

A qualidade e o tipo de explosivo a utilizar numa pega de fogo, depende das suas características, das dimensões e posicionamento dos furos e do tipo de rocha a desmontar.

O tipo de explosivo normalmente, utilizado na pedreira para carga de fundo é o “Supergel 30” e os explosivos, geralmente utilizados como carga de coluna são o “Riogel Troner r”, “



Emunex LE” e a “Nagolita”, o atacamto é realizado com o pó resultante da furação ou então com pó de calcário.

O “supergel 30” (Figura 20-a) é um explosivo gelatinoso feito à base de nitrato de amónio, sensível ao detonador, mas seguro no seu manuseamento e a sua apresentação é em cartuchos. São os explosivos civis de maior potência e apresentam algumas vantagens, como por exemplo, a alta concentração de energia, boa transmissão da detonação, alta densidade (fácil penetração na água), resistência a água, possibilidade de cortar os cartuchos (Figura 20-b) e formação de grande volume de gases.



**Figura 20 – Exemplo de um cartucho do grupo da dinamite.**  
**a) Cartucho de Supergel 30; b) Cartucho de Supergel 30 cortado.**

O “Riogel Troner r” (Figura 21-a) é um explosivo com elevada energia e grande volume de gases, sensível ao detonador, e muito seguro. Tem grande estabilidade química e um tempo de vida dilatado, o que associado aos encartuchamentos em Valeron proporciona um manuseamento seguro e adequado garantindo a segurança no seu transporte.

O “Emunex LE” (Figura 21-b) é um explosivo desenvolvido a partir da mistura de diferentes proporções de uma emulsão explosiva e anfo, é utilizado em carga de coluna. Não é sensível ao detonador recomendando-se a sua iniciação com gelamonite 33, Amonite Plus, Riogel Troner Plus ou outros explosivos semelhantes.

A “Nagolita” (Figura 21-c) é um explosivo granulado de baixa densidade à base de nitrato de amónio poroso e gasóleo e pode ser aplicado a granel por carregamento manual.



**Figura 21 - Exemplo de explosivos utilizados na Iberobrita, SA.**

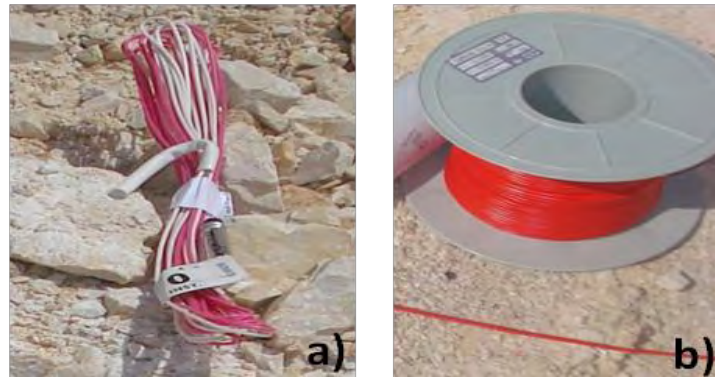
**a) Cartucho de “Riogel Troner R”; b) Caixa de transporte dos cartuchos de “Emulex LE”; c) Saco de “Nagolita” a granel.**

A iniciação de uma pega de fogo pode ser feita através de um disparo eléctrico (utilização de corrente eléctrica para a iniciação do detonador) ou de um disparo pirotécnico (utilização de rastilho para a iniciação do detonador), e o rebentamento das cargas pode ser feito por rastilho (limitado a cinco acendimentos), detonadores eléctricos (normais, retardados ou micro - retardados), cordão detonante (iniciado com um ou mais detonadores) e pelo sistema nonel (iniciado com um detonador).

Na Iberobrita, SA a iniciação da pega de fogo é feita, geralmente, através de detonadores eléctricos, esta detonação é feita pela passagem de uma corrente eléctrica através de uma resistência ligada a uma massa combustível de alta sensibilidade.

Na pedreira utilizam-se detonadores eléctricos com micro - retardos de 30ms, que possibilita a rentabilização da pega de fogo e a diminuição dos impactos provocados pela explosão. A iniciação dos tiros é feita de acordo com a morfologia da bancada, de forma a que o detonador eléctrico com o número zero (Figura 22-a) ou seja, o que dispara primeiro, seja colocado sempre na frente mais livre da bancada criando, desta forma, novas frentes livres.

O rebentamento da pega de fogo, na pedreira, é feito utilizando cordão detonante (Figura 22- b) como iniciador das cargas dos furos. Iniciando o cordão detonante com um detonador eléctrico.



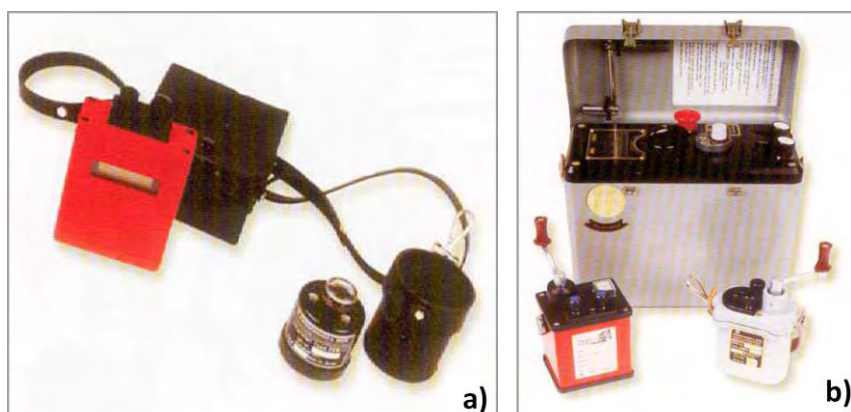
**Figura 22 - Detonador e cordão utilizados na pega de fogo.**

**a) Detonador eléctrico com micro retardos de 30ms. b) Cordão detonante.**

Antes do rebentamento da pega de fogo, utilizando detonadores eléctricos, deve ser feita a verificação do circuito eléctrico, de forma a garantir a continuidade da passagem de corrente e a resistência do circuito.

Após a ligação de todos os detonadores e da linha de tiro deve proceder-se à verificação dos circuitos através de um ohmímetro (Figura 23-a) (instrumento de medida eléctrica, que mede a resistência eléctrica, ou seja, a oposição à passagem da corrente eléctrica).

Os explosores (Figura 23-b) que devem garantir a intensidade de corrente necessária para iniciar todos os detonadores da pega de fogo, podem ser dinamoeléctricos ou de condensador, que são os mais frequentes, estes são dimensionados pelo número de detonadores que podem disparar de uma só vez tendo diferentes capacidades.



**Figura 23 - a) Ohmímetro; b) Explosores (Adaptada do catalogo da Maxman 2008).**

No dimensionamento da pega de fogo deve ter-se em conta os seguintes aspectos:

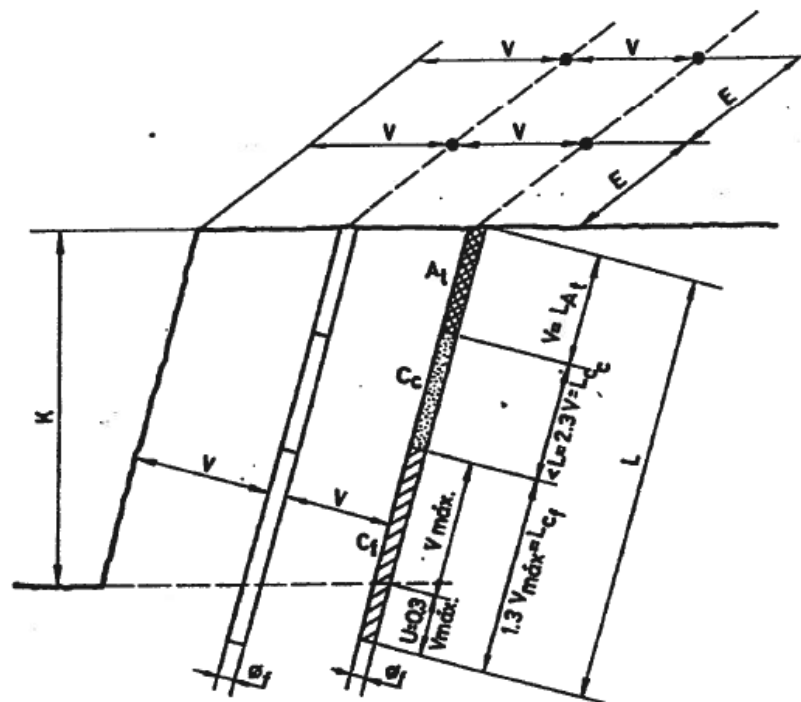
- ✓ Características do maciço rochoso;
- ✓ Características do explosivo:
  - Velocidade de detonação;
  - Densidade real do carregamento;
  - Resistência à água;
- ✓ Características do produto desejado:
  - Granulometria pretendida;
  - Afastamento da frente dos produtos desmontados;
  - Projecções;
- ✓ Características da pega de fogo:
  - Diâmetro de perfuração;
  - Afastamento;
  - Espaçamento;
  - Carga de fundo;
  - Distribuição da carga no fundo;
  - Carga total.

A inclinação, diâmetro e afastamento dos furos, são os parâmetros principais para uma adequada fragmentação da rocha e geometria do talude.

Um bom atacamento do furo, para além de servir de “rolha”, rentabiliza a pega de fogo.

De seguida, apresentar-se-á um exemplo tipo de uma pega de fogo aplicada á pedreira Iberobrita, SA.

Na Figura 24 apresenta-se um esquema com todos os parâmetros a ter em conta no carregamento de um furo e no dimensionamento de uma pega de fogo.



- K - altura da bancada
- L - comprimento do furo (m)
- V máx - distância máxima à face livre
- Øf - diâmetro do furo
- V - distância prática à face livre em (m) = V máx.-F
- F - erros de furação, aproximadamente 15% de V máx.
- V - V máx. x 0.85
- E - espaçamento prático entre furos em (m) = 1.25 x V
- U - sub-furação em (m) = 0.3 x V máx.
- Lcf - comprimento da carga de fundo = 1.3 x V máx.
- Lcc - comprimento da carga de coluna L - 2.3 V
- Lat - comprimento do atacamento = V

Figura 24 - Esquema dos parâmetros utilizados no dimensionamento de uma pega de fogo (adaptada de "Noções sobre a aplicação de explosivos em pedreiras" Eng.º Duarte Ribeiro)

Dados conhecidos:

- ✓ Tipo de rocha: *Calcário*
- ✓ Densidade da rocha ( $\gamma_r$ ):  $2.4 \text{ t/m}^3$
- ✓ Tipo de maciço: *fracturado*
- ✓ Altura da bancada (K):  $15 \text{ m}$
- ✓ Diâmetro do furo ( $\varnothing_f$ ):  $102 \text{ mm}$
- ✓ Inclinação do furo (i):  $5:1 = 11.5^\circ$  que corresponde a uma inclinação de  $1.02$
- ✓ Largura do desmonte, B (comprimento da frente de desmonte):  $20 \text{ m}$
- ✓ Tipo de inertes a produzir:  $86 \text{ mm}-216 \text{ mm}$
- ✓ Tipo de explosivos:

- Carga de fundo:
  - Tipo de explosivo: “*Supergel 30*”
  - Densidade do explosivo (g/cm<sup>3</sup>): 1.40
- Carga de coluna:
  - Tipo de explosivo: “*Riogel Turner r*” / “*Nagolita*”
  - Densidade do explosivo (g/cm<sup>3</sup>): 1.20 / 0.80

Cálculo da pega de fogo (ver Figura 24):

1. Distância máxima à frente da bancada ( $V_{max}$ )

$$V_{max} = 0.045 \times \emptyset_f$$

$$V_{max} = 0.045 \times 102$$

$$V_{max} = 4.59 \text{ m}$$

2. Sub – furação (U)

$$U = 0.3 \times V_{max}$$

$$U = 0.3 \times 4.59$$

$$U = 1.38 \text{ m}$$

Nota: Existem bancadas onde nem sempre se efectua a subfuração, devido à estratificação da rocha.

3. Erros e desvios na furação (F)

$$F = 0.15 \times V_{m\acute{a}x}$$

$$F = 0.15 \times 4.59$$

$$F = 0.69 \text{ m}$$

4. Distância real à frente da bancada (V)

$$V = V_{max} * 0.85$$

$$V = 4.59 * 0.85$$

$$V = 3.90 \text{ m}$$

5. Espaçamento entre furos (E)

$$E = 1.25 \times V$$

$$E = 1.25 \times 3.90$$

$$E = 4.88 \text{ m}$$

6. Comprimento dos furos (L)

$$L = (K + U) \times i$$

$$L = (15 + 1384) \times 1.02$$

$$L = 16.71 \text{ m}$$

7. Comprimento da Carga de fundo ( $L_{cf}$ )

$$L_{cf} = 1.3 \times V_{max}$$

$$L_{cf} = 1.3 \times 4.59$$

$$L_{cf} = 5.97 \text{ m}$$

8. Carga de fundo ( $C_f$ )

$$C_f = \frac{\phi^2}{1000} * L_{cf}$$

$$C_f = \frac{102^2}{1000} * 5.97$$

$$C_f = 62.09 \text{ Kg}$$

9. Comprimento do atacamento ( $L_{at}$ )

$$L_{at} = V$$

$$L_{at} = 3.90 \text{ m}$$

### 10. Comprimento da carga de coluna ( $L_{cc}$ )

$$L_{cc} = L - 2.3V$$

$$L_{cc} = 16.71 - (2.3 * 3.90)$$

$$L_{cc} = 7.74 \text{ m}$$

### 11. Concentração da carga de coluna ( $C_{cc}$ )

$$C_{cc} = (0.45 \text{ a } 0.5) \times \frac{\phi^2}{1000}$$

$$C_{cc} = (0.45) \times \frac{102^2}{1000}$$

$$C_{cc} = 4.68 \text{ Kg}/m_{furo}$$

### 12. Carga de coluna ( $C_c$ )

$$C_c = L_{cc} \times C_{cc}$$

$$C_c = 7.74 \times 4.68$$

$$C_c = 12.42 \text{ Kg}$$

### 13. Carga total por furo ( $C_t$ )

$$C_t = C_f + C_c$$

$$C_t = 12.42 + 62.09$$

$$C_t = 74.51 \text{ Kg}$$

### 14. Concentração específica

$$CE = \frac{C_t}{E * V * H}$$

$$CE = 260 \text{ g}/m^3$$



15. Número de espaços entre furos por fiadas ( $N_e$ )

$$N_e = \frac{B}{E}$$

$$N_e = \frac{20}{4.88}$$

$$N_e = 4$$

16. Espaçamento real entre furos ( $E_r$ )

$$E_r = \frac{B}{N_e}$$

$$E_r = \frac{20}{4}$$

$$E_r = 5 \text{ m}$$

17. Número de furos por fiada ( $N_f$ )

$$N_f = N_e + 1$$

$$N_f = 4 + 1$$

$$N_f = 5$$

18. Volume da rocha desmontada

$$V = E \times V \times K \times N_f \times \gamma_r$$

$$V = 3426 \text{ ton}$$

Após o dimensionamento da pega de fogo, serão abertos os furos necessários e é feita a encomenda dos explosivos, que serão entregues no dia seguinte para se proceder ao carregamento da pega de fogo e ao rebentamento da bancada.

A sequência de fotografias (Figura 25), mostra as fases de carregamento de uma pega de fogo em que o detonador eléctrico é colocado na carga de fundo.



**Figura 25 - Sequência de fotografias para o carregamento de um furo:**

**a) Perfuração de um dos furos para a realização da pega de fogo; b) Explosivos utilizados para o carregamento da pega de fogo; c) Colocação do detonador na carga de fundo; d) Escorvamento do cartucho para a sua colocação no furo, com o detonador; e) Colocação do cartucho no furo; f) Realização do taqueio.**

Terminada a colocação da carga de fundo, coloca-se a carga de coluna e por fim realiza-se a atacamento (Figura 25-f).

Por vezes, na pedreira a carga em vez de ser iniciada no fundo do furo é iniciada no início do furo, neste caso utiliza-se cordão detonante para fazer a ligação na carga de fundo até a superfície.

Quando todos os furos estiverem carregados, começa-se então a fazer as ligações com os detonadores à superfície (Figura 26).



**Figura 26 - Detonadores ligados à superfície.**

Como se trata de uma pedreira de exploração de calcário, ao realizar os furos e o carregamento da pega de fogo, tem que se ter alguma atenção, pois é possível surgirem cavernas no calcário. Nestes casos a colocação de explosivos no furo é feito com o recurso a uma manga de plástico (Figura 27) que ajudará a manter os explosivos no lugar desejável sem que estes sejam espalhados pela caverna.



**Figura 27 - Colocação de explosivos utilizando manga de plástico.**

Aquando da furação e colocação de explosivos, também é importante verificar se o furo apresenta ou não água, pois, caso apresente só se poderá utilizar o explosivo a granel, dentro da manga plástica.



Concluídas as operações de carregamento, verificação das ligações e tomadas as medidas de segurança chega a altura de detonar a pega de fogo (Figura 28).



**Figura 28 - Detonação da pega de fogo.**

### 2.4. Extracção e transporte

O sistema de extracção e transporte consiste na transferência de material de um local para o outro.

O local de carga, geralmente é na frente de desmonte, ou em pilhas de material, dependendo da instalação a alimentar.

Os locais de descarga podem ser em escombreyras e em dispositivos de armazenagem para processamento imediato (tremonha).

Os materiais chegam aos locais de descarga intermitentemente através das unidades de transporte, os *dumpers*.

A carga dos materiais é feita essencialmente por pás carregadoras.

Todos os equipamentos móveis (perfuradoras, pás carregadoras, *dumpers*, entre outros), realizam um conjunto de operações sequenciais e cíclicas ao longo de um dia de trabalho (Figura 29).

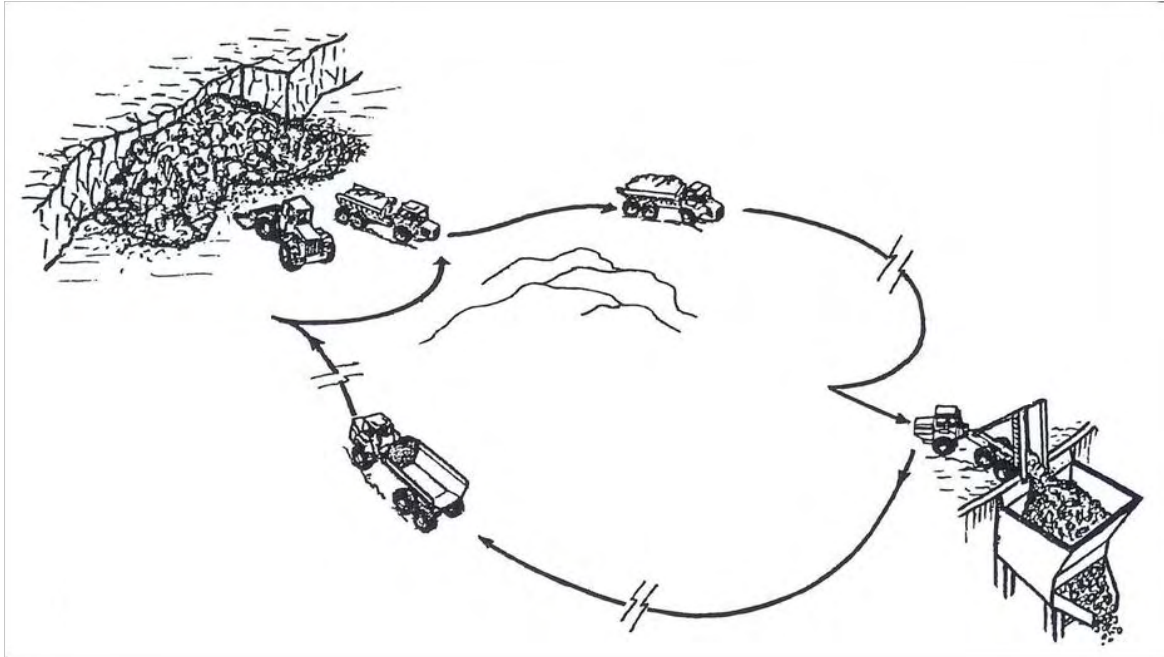


Figura 29 - Esquema de um sistema de transporte aplicado a pedreira.

### 2.5. Processo produtivo

O processo produtivo da pedreira Iberobrita, SA, contempla as fases desde a extração até a obtenção do produto final:

- Fragmentação e classificação;
- Equipamentos;
- Diagramas de tratamento.

#### 2.5.1. Fragmentação e classificação

A fragmentação é o processo através do qual a rocha proveniente da frente da bancada, é quebrada de forma a poder entrar no circuito de fragmentação e ser classificada.

Na prática é frequente estabelecer uma classificação muito geral das partículas com que normalmente se trabalha, de acordo com as características do processo industrial de fragmentação, em particular a sua divisão em três grandes fases:

- Fragmentação primária ou britagem;
- Fragmentação secundária ou granulação;
- Fragmentação terciária ou moagem.

Desta forma, as partículas quando chegam à instalação de britagem são de grandes dimensões a que se dá o nome de blocos e ficam sujeitos à acção da britagem, produzindo blocos de dimensões mais reduzidas, passando para a granulação onde há à produção de britas que posteriormente ficam sujeitas a classificação, obtendo-se desta forma o produto final.

A fragmentação mecânica é realizada em equipamentos de trituração, cujas particularidades operacionais dependem especialmente do calibre máximo de entrada e do grau de fragmentação a realizar.

Na operação de fragmentação, é necessário garantir que todos os calibres provenientes da frente de desmonte consigam entrar na boca da primeira máquina da lavaria, que neste caso, é um britador primário, para não se verificarem encravamentos e diminuição da produção.

Uma forma de reduzir a hipótese de encravamento e engasgamento na boca do britador primário é a realização de um bom cálculo para a pega de fogo, pois, desta forma, consegue-se prever qual a dimensão dos blocos após o rebentamento e se estes estão de acordo com as dimensões da boca do britador primário. Caso se verifique, a existência de blocos com dimensões superiores a boca do britador primário, deve realizar-se o taqueio de forma a prevenir o engasgamento.

Na Iberobrita, SA o processo industrial de fragmentação contempla as seguintes fases:

- Fragmentação primária;
- Fragmentação secundária;

A fragmentação primária, começa quando o *dumper* descarrega o material na tremonha de alimentação da instalação de britagem.

Nas instalações de britagem IB01, IB02 e IB04 o material antes de chegar ao fragmentador de maxilas, passa por umas correntes, que têm como função diminuir a projecção de material e a sua velocidade e por umas grelhas de discos que fazem a separação e limpeza do material mais grosseiro, obtendo-se nas instalações IB01 e IB02 tout-venant de 2º e na instalação IB04 detritos de pedreira.

O material que fica retido na grelha, segue para um fragmentador de maxilas, de forma a diminuir o calibre das partículas, seguindo para a fragmentação secundária.

A fragmentação secundária é feita por moinhos de martelos e consiste na britagem, do material que passa pelo fragmentador de maxilas.

O material resultante da moagem, é enviado por telas transportadoras para os crivos vibratórios, obtendo-se as diferentes granulométries dos agregados. No caso da instalação IB01 e IB04 alguns dos agregados são armazenados em silo e outros em pilha, em todas as outras instalações os agregados são armazenados em pilhas.

### **2.5.2. Equipamentos**

#### **2.5.2.1. Alimentador ou tremonha**

A principal função deste equipamento é a de alimentar os britadores.

É constituída por um transportador articulado, de placas robustas, que permitem a correcta orientação do material para a boca do britador.

O motor e o variador de velocidade asseguram a qualidade de alimentação desejada, sem necessidade de parar a máquina.

#### **2.5.2.2. Fragmentador de maxilas**

Equipamento que promove a trituração da pedra proveniente da frente de bancada, ou seja, consiste num esmagamento, por compressão, dos fragmentos entre duas peças, uma das quais é fixa e a outra é móvel.

### 2.5.2.3. Impactador primário ou moinho impactor

Equipamento constituído por um veio horizontal, ao qual se fixa um rotor dotado de saliências, animado de alta velocidade de rotação, no interior de uma carcaça - blindagem equipada de “pára-choques” ou ecrãs de inclinação regulável.

O material ao ser introduzido na câmara de trituração é cuspidos pelos martelos sendo projectado contra a armadura, o que provoca a sua fragmentação, por efeito de choque.

Os martelos, são fixos ao rotor, realizando fragmentações graúdas, e a descarga do material é livre, ou seja, não existe grande controlo dos produtos triturados.

Para se obter a granulometria pretendida basta regular os mecanismos de impacto por meio de macacos hidráulicos.

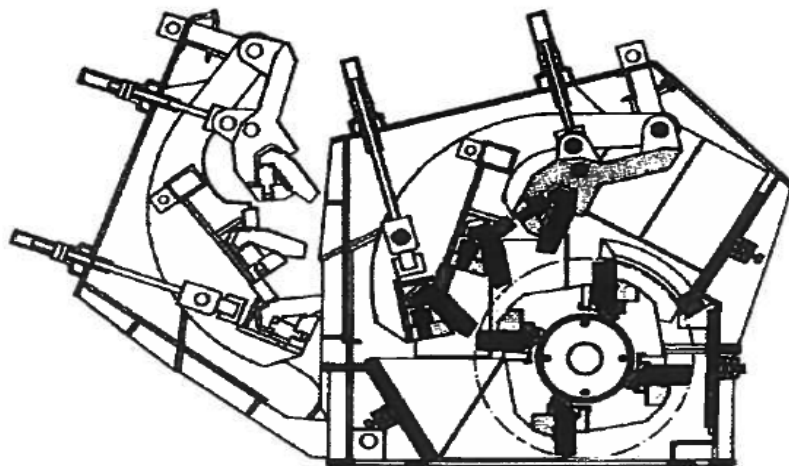


Figura 30 - Esquema de um moinho impactor.



### 2.5.2.4. Moinho de martelos

Equipamento semelhante e com a mesma forma de funcionamento que o moinho impactador, só que neste caso, utiliza-se para granulometrias mais finas,

A fragmentação é realizada por efeito de choque de peças de aço girando a alta velocidade

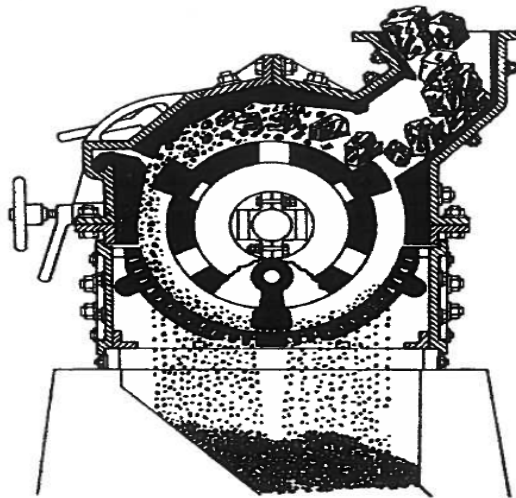


Figura 31 - Esquema de um moinho de martelo.

### 2.5.2.5. Crivo vibratório

Este tipo de equipamento tem como principal função a separação do material por fracções granulométricas.

Os crivos estão apoiados sobre molas helicoidais, que lhes conferem um movimento animado do tipo circular, com extremidade fechada e esmerilada, para que as vibrações não se transmitam às estruturas de suporte ou de apoio.

Estes crivos são compostos por superfícies de crivagem inclinadas, e são providas de várias redes de crivagem sobrepostas, com malha variável.

### 2.5.2.6. Telas transportadoras

As telas transportadoras são utilizadas para o transporte de material a granel entre os fragmentadores, os classificadores e a pilha do produto final.

As telas são compostas essencialmente por:

- Tela propriamente dita, constituída por:
  - Um determinado número de telas de algodão ou de nylon;
  - Impregnações de borracha (tratamento do tecido das telas assegurando a aderência entre elas);
  - Cobertura de borracha (protege as telas da humidade e da acção abrasiva dos produtos transportados).
- Conjunto de arrastamento da tela, constituído por:
  - Motor (es)
  - Redutor (es)
  - Tambor (s)
- Tambor externo, de inversão do movimento da tela;
- Sistema de transporte da tela, ao longo do seu desenvolvimento, quer no ramo carregado, quer no vazio, este sistema é constituído, geralmente por roletes;
- Sistema esticador, que mantêm a tensão conveniente na tela;

As telas são suportadas, no seu ramo carregado, por jogos de roletes em fundo de masseira, sendo o rolete central de eixo horizontal e os exteriores de eixos inclinados de

15° a 30°. A lubrificação dos roletes é feita com uma massa e a sua largura depende da largura da tela.

A inclinação da tela é um factor que limita a sua utilização. A inclinação da tela varia consoante o tipo de material e a uniformidade da alimentação, ou seja, os materiais mais finos e mais angulosos permitem maiores inclinações, tal como a uniformidade da alimentação da tela.

### **2.5.3. Diagramas de tratamento**

Os diagramas de tratamentos, são esquemas de processo e beneficiamento do produto produzido em cada instalação de britagem.

Servem para controlo e correcção das condições do produto, de forma a trata-lo da forma mais conveniente e eficaz para a produção e controlo da qualidade do produto final.

Através dos diagramas de tratamento, é possível ter o conhecimento de todas as variantes de tratamento do produto desejado.

A formulação dos diagramas de tratamento depende principalmente das características do produto, da técnica utilizada na instalação, das condições de mercado dos produtos finais, dos tipos de produtos a comercializar e da dimensão e condições da exploração.

De forma, a contribuir para uma maximização da produção de agregados e melhorar a sua qualidade, foram elaborados diagramas de tratamento para cada uma das instalações.

Diagrama de tratamento da instalação IB 01:

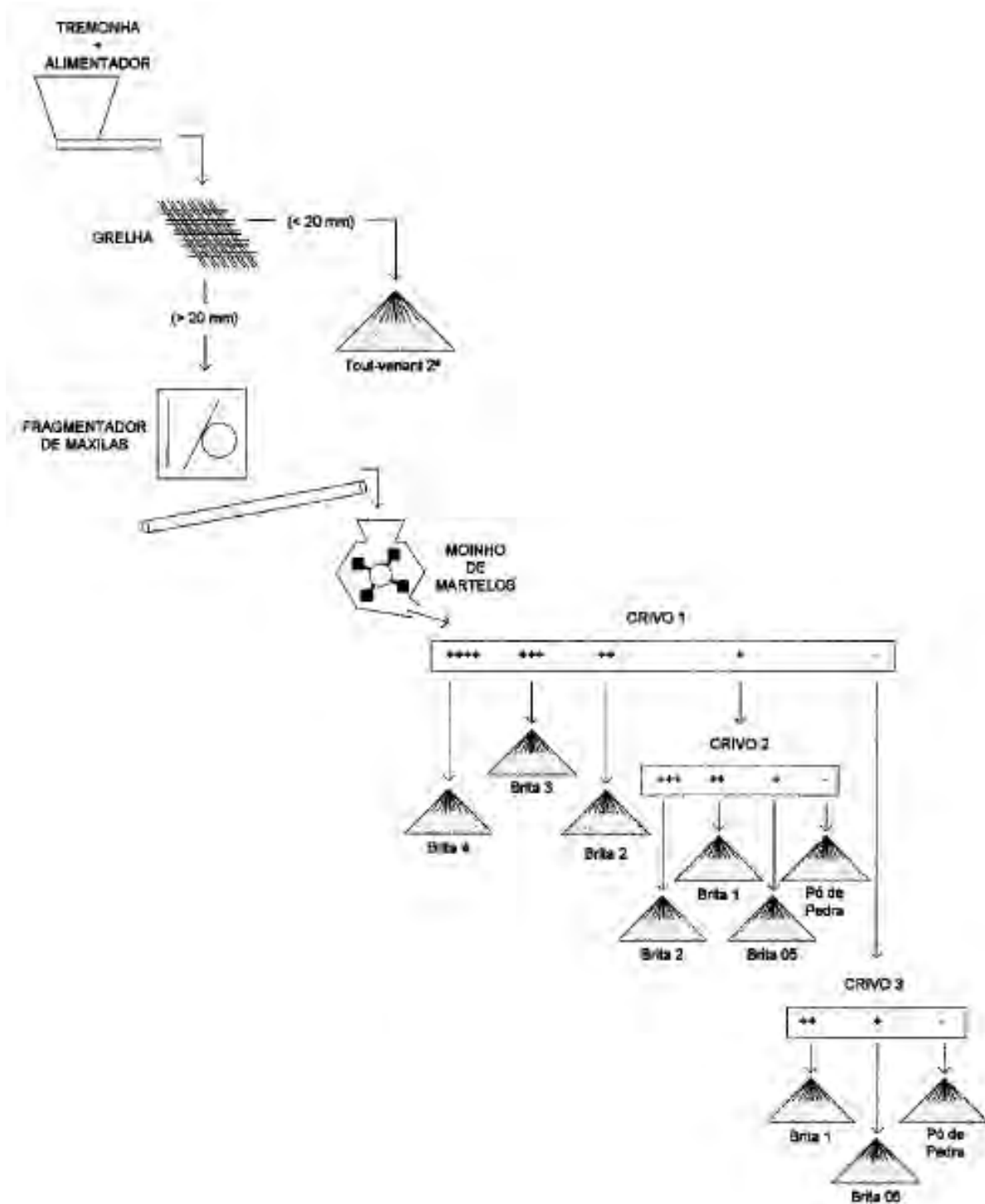


Figura 32 - Diagrama de processamento da instalação IB 01.

Diagrama de tratamento da instalação IB 02:

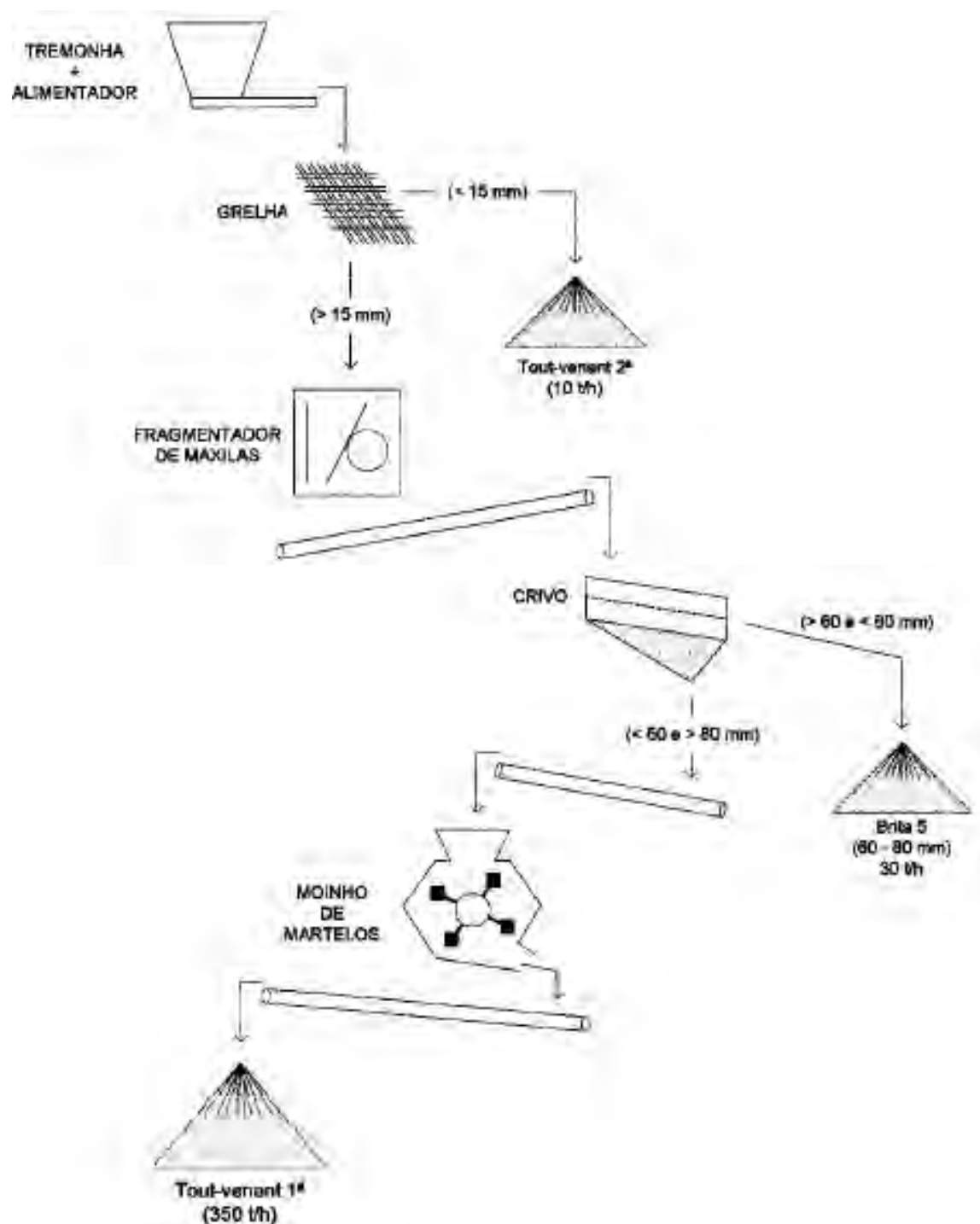


Figura 33 - Diagrama de processamento da instalação IB 02.

Diagrama de tratamento da instalação IB 03:

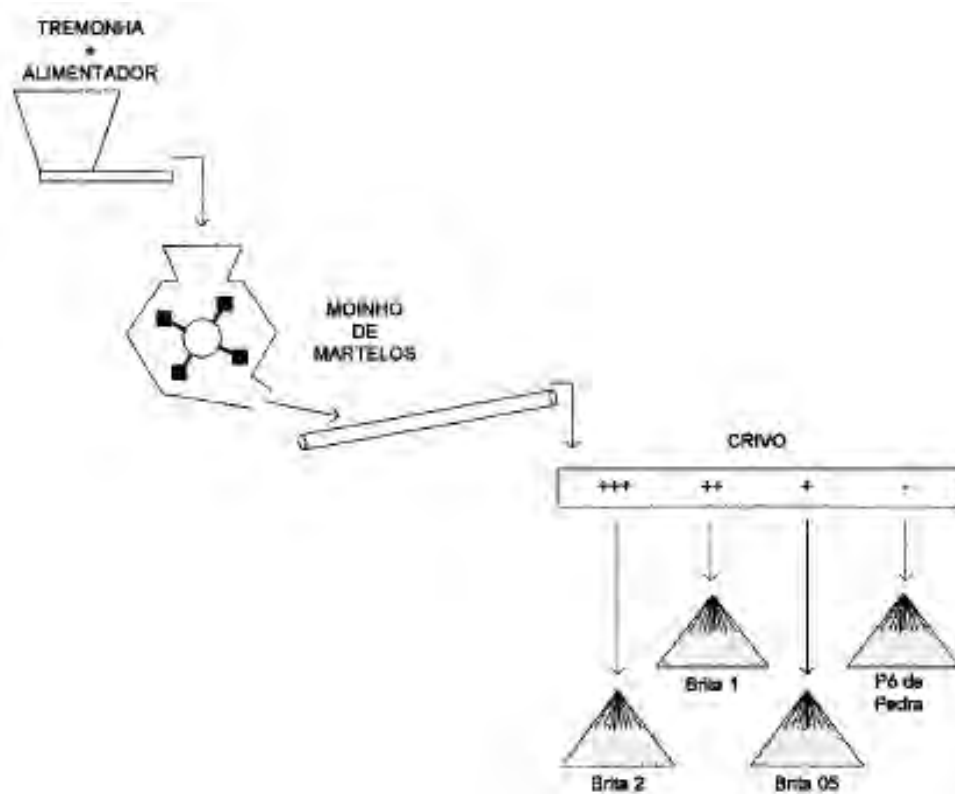


Figura 34 - Diagrama de processamento da instalação IB 03.

Diagrama de tratamento da instalação IB 05:

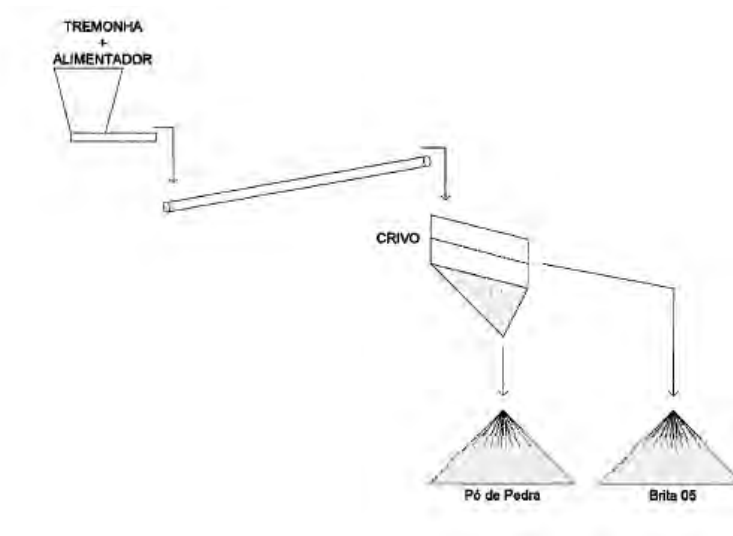
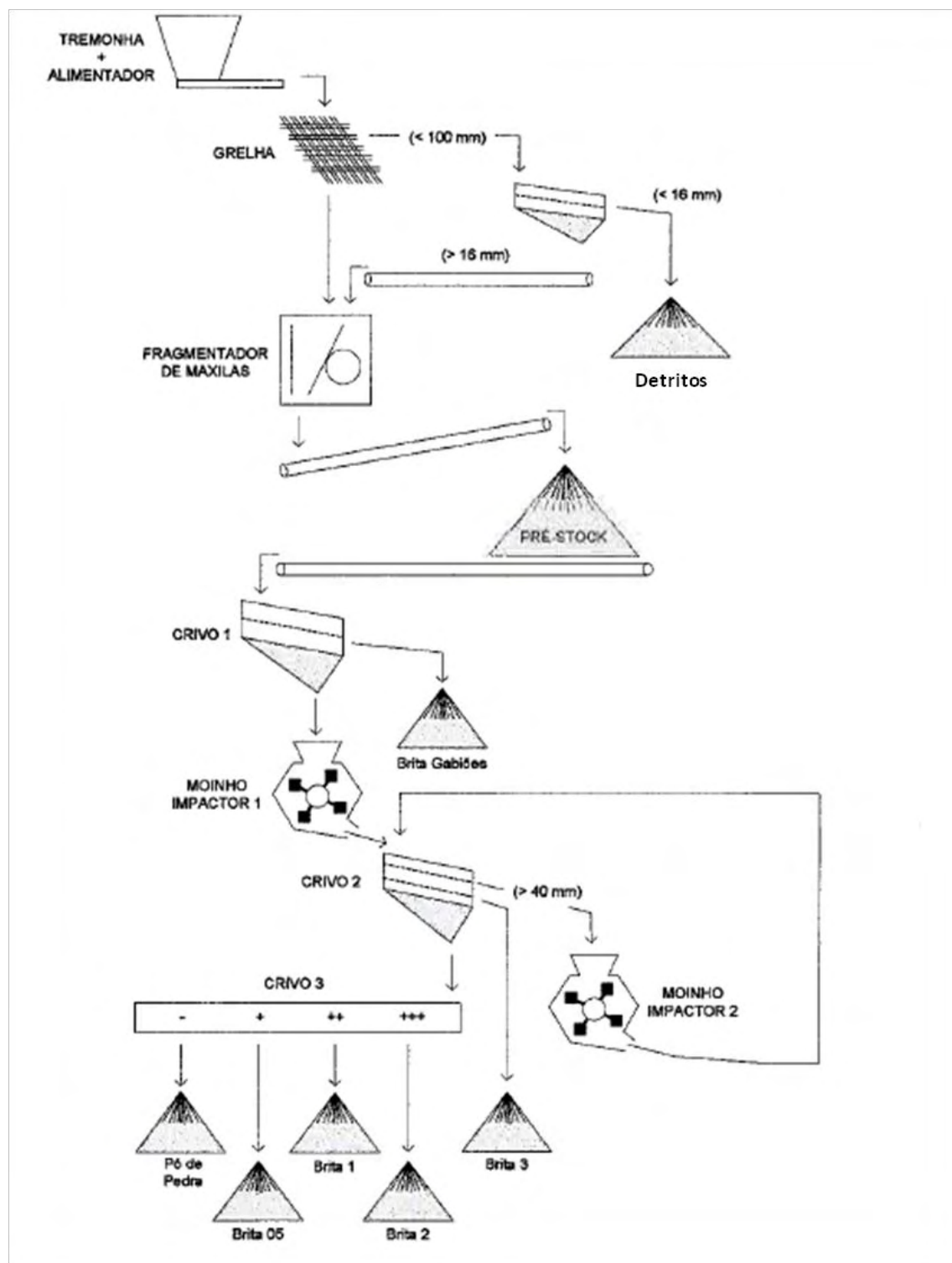


Figura 35 - Diagrama de processamento da instalação de britagem IB 05.

Diagrama de tratamento da instalação IB 04:



**Figura 36 - Diagrama de processamento da instalação IB 04.**

A instalação IB03 é uma instalação de rebitagem, isto porque, é alimentada pela brita 3 produzida na IB04 e a instalação IB05 é uma instalação de separação, sendo alimentada pelo pó de pedra (0/4mm) produzido na instalação IB04 fabricando brita 2/4mm e pó de pedra 0/2mm.

### 2.6. Caracterização dos agregados produzidos

Os agregados são materiais granulares, sem forma e sem volume definidos, geralmente inertes e de dimensões e propriedades adequadas para a sua aplicação em estruturas de engenharia e em construções.

A granulometria é o que caracteriza o agregado em termos de calibre, e depende da abertura superior e inferior dos peneiros. É composto por partículas com dimensões entre  $d$  e  $D$ , dimensão mínima e máxima, respectivamente.

Desta forma, o agregado pode ser classificado consoante a sua granulometria máxima e mínima, por exemplo segundo a norma NP EN 12620 “Agregados para betão”, os agregados são classificados em:

- Grosso:  $D/d \leq 2$  mm ou  $D \leq 1.2$ mm
- Fino:  $D \leq 4$ mm e  $d=0$
- Granulometria extensa:  $D \leq 45$ mm e  $d=0$

Os tipos de agregados produzidos pela Iberobrita, SA, são (Figura 37):

- Pó de calcário (0-4mm)
- Pó de calcário (0-2mm)
- Brita 2/4 de calcário (2-4mm)
- Brita 05 de calcário (4-6mm)
- Brita 1 de calcário (6-12mm)
- Brita 2 de calcário (11-22mm)
- Brita 3 de calcário (16-32mm)
- Brita 4 de calcário (22-45mm)



- Brita 5 de calcário (60-120mm)
- Brita de gaviões de calcário (100-200mm)
- Tout-venant 1ª de calcário (0-32mm)
- Tout-venant 2ª de calcário (0-32mm)
- Detritos de pedra (0-16mm)



**Figura 37 – Exemplos de alguns agregados produzidos na Iberobrita, SA.**

### 3. Apresentação do Laboratório do Grupo Júlio Lopes

#### 3.1. Organização

Como o laboratório é utilizado pelas empresas do Grupo Júlio Lopes, está integrado, no Sistema de Qualidade Ambiente e Segurança da Iberobrita, SA, visto ser o mais completo e exigente.

Definiram-se regras para assegurarem que os dispositivos de monitorização e medição em utilização se encontrem em boas condições de funcionamento e que os resultados sejam fiáveis.

#### 3.2. Campo de actividade

O laboratório encontra-se apto a executar ensaios relativos a Agregados, Solos, Misturas Betuminosas e Betão hidráulico.

Para além dos ensaios de carácter estritamente laboratorial, o laboratório dispõem ainda de equipamentos para a realização de ensaios de controlo *in situ*.

Os ensaios que o laboratório tem capacidade para realizar estão descritos na Tabela 1:

**Tabela 1 - Ensaios Realizados no Laboratório do Grupo Júlio Lopes.**

<b>Normas / Especificações</b>	<b>Designação do ensaio</b>
BS 812	Índice de Lamelação e alongamento
LNEC E 196	Análise granulométrica de solos
LNEC E 197	Compactação pesada
LNEC E 198	Ensaio de CBR
LNEC E 199	Equivalente de areia
LNEC E 201	Teor em matéria orgânica
LNEC E 204	Baridade "in situ"; solos / agregados
LNEC E 233	Análise granulométrica de Agregados
LNEC E 235	Agregados: Determinação da quantidade de material que passa no peneiro n.º 200 ASTM

## Controlo de Qualidade: Agregados e Obra Rodoviária

LNEC E 237	Ensaio de desgaste na máquina de "Los Angeles"
NP 83	Densidade das partículas
NP 84	Teor em água de solos e agregados
NP 143	Limites de liquidez e de Plasticidade
NP 581	Massa volúmica e absorção de água de inertes
NP EN 933-1	Análise granulométrica - método de peneiração
NP EN 933-3	Determinação da forma das partículas - Índice de achatamento
NP EN 933-4	Determinação da forma das partículas - Índice de forma
NP EN 933-8	Determinação do teor de finos - Ensaio de equivalente de areia
NP EN 933-9	Análise dos finos - Ensaio de azul-de-metileno
NP 954	Massa volúmica e absorção de água de inertes
NP EN 1097-2	Determinação da resistência à fragmentação
NP EN 1097-3	Determinação da baridade e do volume de vazios
NP EN 1097-6	Determinação da massa volúmica e da absorção de água
Afnor 18-592	Determinação do valor de azul-de-metileno
NF P 94-066	Ensaio de fragmentabilidade
NF P 94-067	Ensaio de degradabilidade
ASTM D 1074	Compressão simples de misturas betuminosas
ASTM D 1075	Determinação da resistência conservada baseada na norma (adaptada a provetes Marshall)
ASTM D 1559	Ensaio "Marshall"
ASTM D 2041	Determinação da baridade máxima teórica pelo método do picnómetro de vácuo
ASTM D 2172	Determinação da percentagem em betume, por centrifugação ou pelo método do refluxo
ASTM D 2726	Determinação da baridade de misturas compactadas
JAIE P 9-53	Ensaio de adesividade "aglutinante-inertes"
LNEC E 35	Peso específico de ligantes betuminosos
EN 12697-1	Determinação de percentagem de betume
EN 12697-5	Determinação da densidade máxima
EN 12697-6	Determinação da densidade aparente dos provetes betuminosos pelo método hidrostático
EN 12697-8	Determinação do volume de espaços vazios dos provetes betuminosos
EN 12697-27	Amostragem
EN 12697-28	Preparação de amostras para determinar a percentagem de betume, água e granulometria
EN 12697-30	Preparação de provetes para compactação
EN 12697-34	Ensaio de Marshall
EN 12697-35	Preparação de amostras em laboratório
EN 12697-39	Determinação da percentagem de betume por ignição
LNEC E 226	Ensaio de compressão
NP 87	Consistência do Betão

Carotagem em pavimento betuminoso
Determinação da compactação e teor em água com a sonda nuclear
Determinação da compactação pelo método da garrafa de areia
Determinação da mancha de areia

Dos ensaios apresentados, os realizados ao longo do estágio foram:

**Tabela 2 - Ensaios que a estagiária realizou no Laboratório do Grupo Júlio Lopes.**

<b>Normas / Especificações</b>	<b>Designação do ensaio</b>
LNEC E 196	Análise granulométrica de solos
LNEC E 197	Compactação pesada
LNEC E 198	Ensaio de CBR
LNEC E 199	Equivalente de areia
LNEC E 204	Baridade "in situ"; solos / agregados
LNEC E 233	Análise granulométrica de Agregados
LNEC E 235	Agregados: Determinação da quantidade de material que passa no peneiro n.º 200 ASTM
LNEC E 237	Ensaio de desgaste na máquina de "Los Angeles"
NP 84	Teor em água de solos e agregados
NP 143	Limites de liquidez e de Plasticidade
NP 581	Massa volúmica e absorção de água de inertes
NP EN 933-1	Análise granulométrica - método de peneiração
NP EN 933-3	Determinação da forma das partículas - Índice de achatamento
NP EN 933-4	Determinação da forma das partículas - Índice de forma
NP EN 933-8	Determinação do teor de finos - Ensaio de equivalente de areia
NP EN 933-9	Análise dos finos - Ensaio de azul-de-metileno
NP 954	Massa volúmica e absorção de água de inertes
NP EN 1097-2	Determinação da resistência à fragmentação
NP EN 1097-3	Determinação da baridade e do volume de vazios
NP EN 1097-6	Determinação da massa volúmica e da absorção de água
Afnor 18-592	Determinação do valor de azul-de-metileno
ASTM D 1074	Compressão simples de misturas betuminosas
ASTM D 1075	Determinação da resistência conservada baseada na norma (adaptada a provetes Marshall)
ASTM D 1559	Ensaio "Marshall"
ASTM D 2172	Determinação da percentagem em betume, por centrifugação ou pelo método do refluxo
ASTM D 2041	Determinação da baridade máxima teórica pelo método do picnómetro de vácuo
ASTM D 2726	Determinação da baridade de misturas compactadas
LNEC E 35	Peso específico de ligantes betuminosos

EN 12697-1	Determinação de percentagem de betume
EN 12697-5	Determinação da densidade máxima
EN 12697-8	Determinação do volume de espaços vazios dos provetes betuminosos
EN 12697-27	Amostragem
EN 12697-28	Preparação de amostras para determinar a percentagem de betume, água e granulometria
EN 12697-30	Preparação de provetes para compactação
EN 12697-34	Ensaio de Marshall
EN 12697-35	Preparação de amostras em laboratório
LNEC E 226	Ensaio de compressão
Determinação da compactação e teor em água com a sonda nuclear	

### 3.3. Sistema de Qualidade

O Laboratório tem o seu Sistema de Gestão de Qualidade com referência normativa a NP EN ISO 9001:2000, de Ambiente NP EN ISO 14001, de Segurança OHSAS 18001, EMAS (regulamento CE nº 761/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Março – Sistema Comunitário de Eco-Gestão e Auditoria), Marcação CE dos agregados EN 12620:2002; EN13043:2004+AC:2004; EN 13139:2002; EN 13242:2002+AC2004 e Marcação CE das misturas betuminosas EN 13108-1:2006. Efectuou ainda uma avaliação/classificação dos resíduos, que são geridos de acordo com a legislação em vigor, desde o seu adequado armazenamento até ao envio para destinatários devidamente autorizados.

Após esta avaliação implementou-se um plano de recolha, tratamento e encaminhamento dos resíduos laboratoriais, bem como a avaliação de riscos definindo-se os equipamentos de protecção a utilizar.

### 3.4. Descrição do laboratório e equipamentos disponíveis

O laboratório ocupa uma área de 88m<sup>2</sup>, forrado a azulejo, com bancadas em inox reforçadas e instalações sanitárias.

O laboratório está equipado com sistema de climatização, que permite regular a temperatura ideal para a realização dos ensaios, e um sistema de ventilação que garante a qualidade do ar e está dividido em quatro salas, com o seguinte equipamento:

➤ **Sala 1** (Figura 38):

- Repartidor universal

O repartidor universal, é um equipamento de repartição de amostras de solo e agregados.

É utilizado para elaborar os provetes para os diferentes ensaios.

- Estufa ventilada

A estufa ventilada é utilizada para a secagem das amostras de solo e agregados.

- Balança, com capacidade de 35Kg, adaptada a uma estrutura de pesagem hidrostática

A balança é um equipamento essencial no laboratório, para pesar os provetes de ensaio, e como tem capacidade para efectuar pesagem hidrostática é utilizada no ensaio para a determinação da massa volúmica e absorção de água.

- Tanque para a cura de cubos de betão

Tanque com água, equipado com um motor que possibilita manter a água a uma determinada temperatura, para a realização da cura dos cubos de betão.

- Prensa de compressão automática

Este equipamento é utilizado para a determinação da compressão dos cubos de betão.

- Compactador de solos automático

Equipamento utilizado para compactar solos, para a realização do ensaio de Proctor e do CBR.

- Mufla de ignição

Equipamento que atinge temperaturas elevadas e que tem incorporada uma balança para a determinação da percentagem de betume.



Figura 38 - Vista geral da 1ª sala do Laboratório.

➤ **Sala 2** (Figura 39):

- Estante de peneiros ASTM e marcação CE
- Estante de peneiros de barras
- Equipamento para o ensaio de Azul-de-metileno

Composto por um agitador eléctrico, para agitar e/ou misturar o azul-de-metileno ao provete de amostragem.

- Equipamento para o ensaio do Equivalente de areia

Composto por um agitador de provetas, provetas cilíndricas graduadas e um conjunto mergulhador.

O agitador tem capacidade para provocar na proveta um movimento horizontal, rectilíneo, periódico e sinusoidal.

- Prensa de Marshall/CBR automática

Equipamento utilizado para medir a deformação e estabilidade dos provetes de misturas betuminosas, os resultados são mostrados num *display* e podem ser armazenados para posterior transferência para um computador.

Determina ainda, a capacidade de carga de um solo, através do CBR.

- Banho-maria

Equipamento feito em aço inoxidável, com base perfurada que garante a livre circulação de água na parte superior e inferior da amostra com regulação da temperatura.

- Balança digital com capacidade para 8Kg

- Agitador de peneiros

Aparelho no qual se colocam os peneiros para efectuar a separação granulométrica das amostras, classificando-as pelo tamanho dos grão.

Também pode ser utilizado no ensaio do picnómetro de vácuo.





Figura 39 - Vista geral da 2ª sala do Laboratório.

➤ **Sala 3** (Figura 40):

- **Compactador de Marshall**

Equipamento que serve para compactar os provetes de Marshall de forma uniforme, pois é um processo automático, basta programar o número de golpes.

- **Centrifugadora**

Equipamento que faz rodar a mistura (na qual uma das partes tem que ser líquida) a alta velocidade, provocando a separação pela acção da força que é aplicada (do centro para fora), saindo a parte líquida durante a rotação. É utilizada para a determinação da percentagem de betume.

- **Refluxo**

Equipamento utilizado para à determinação da percentagem de betume de uma mistura betuminosa por destilação e filtração.

- Recuperador de solvente

Equipamento utilizado para a recuperação do solvente após a centrifugação da mistura betuminosa, ou após a determinação da percentagem de betume pelo método do refluxo.

- Estufa

Equipamento utilizado para misturas betuminosas, para as manter a temperatura desejada e para secar amostras.

- Balança digital com capacidade de 4Kg



Figura 40 - Vista geral da 3ª sala do laboratório.

➤ Sala 4 (Figura 41):

- Equipamento de desgaste de *Los Angeles*

Maquina constituída por um tambor de aço que roda sob si mesmo dando entre 30 a 33 rotações por minuto.

- Vibrador e moldes dos cubos de betão

- Sonda nuclear – Gamadensímetro

A sonda nuclear CPN-MC3/122 é um equipamento utilizado para medir a compactação de solos, através de radiação. Quando o operador está a utilizar este equipamento deve ter alguns cuidados devido a libertação de radiação e deve usar sempre o dosímetro para medir a radiação a que está sujeito.

Trimestralmente, os dosímetros são enviados para o Centro de Dosimetria e Protecção de radiação, Lda, que verifica qual a radiação que o operador esteve sujeito e se está dentro nos níveis aceitáveis.

- Caroteadora de pavimento

Equipamento utilizado para fazer carotes de misturas betuminosas.



**Figura 41 - Vista geral da 4ª sala do laboratório.**

Todos os equipamentos presentes no laboratório são verificados e quando necessário calibrados, existindo para cada um deles um plano de inspecção, verificação e calibração.

No próprio equipamento, existe uma etiqueta que indica a data da próxima calibração e se o equipamento está apto, não apto ou com uso limitado.

### 3.5. Documentação

Ao recolher as amostras, quer sejam provenientes da Iberobrita, SA ou das Construções Júlio Lopes, SA é preenchido um relatório de amostragem que indica qual o material a analisar, condições de amostragem e ensaios a realizar, bem como a identificação da amostra.

Para cada ensaio, existe um relatório interno, que no final do ensaio realizado será anexado ao relatório de amostragem para posterior entrega ao responsável do laboratório.

### 3.6. Controlo de qualidade de agregados

Como a empresa é certificada tem que obedecer a uma serie de regras e normas, por isso elaborou-se um plano de inspeção e ensaios, onde se encontram definidos os ensaios necessários a realizar para cada produto.

Os agregados foram submetidos a ensaios iniciais tipo, a um controlo de produção em fábrica e a ensaios complementares de amostras colhidas em fábrica, de acordo com um plano de inspeções e ensaios que teve que ser aprovado.

O organismo notificado – Certif Associação para a Certificação de Produtos – realizou uma auditoria inicial à fábrica e ao controlo de produção, e realiza o acompanhamento anual, sendo a renovação da certificação de três em três anos.

São atestadas continuamente, pela entidade certificadora, as disposições relativas à comprovação da conformidade e ao desempenho do produto, de acordo com a utilização prevista e características técnicas definidas, das normas harmonizadas NP EN 12620; NP EN 103043; NP EN 13139 e NP EN 13242.

Após o conhecimento do plano de ensaio e para que os resultados dos ensaios laboratoriais tenham significado, tem que se proceder a recolha de amostras representativas de toda a pilha de agregado, daí existir um critério rigoroso na colheita de amostras que esta descrito nos planos de amostragem de cada tipo de agregado.

Depois de se efectuar a recolha dos agregados, e de modo a obter provetes de ensaio representativos de cada amostra, esta é repartida com o auxílio de um repartidor para os diferentes ensaios.

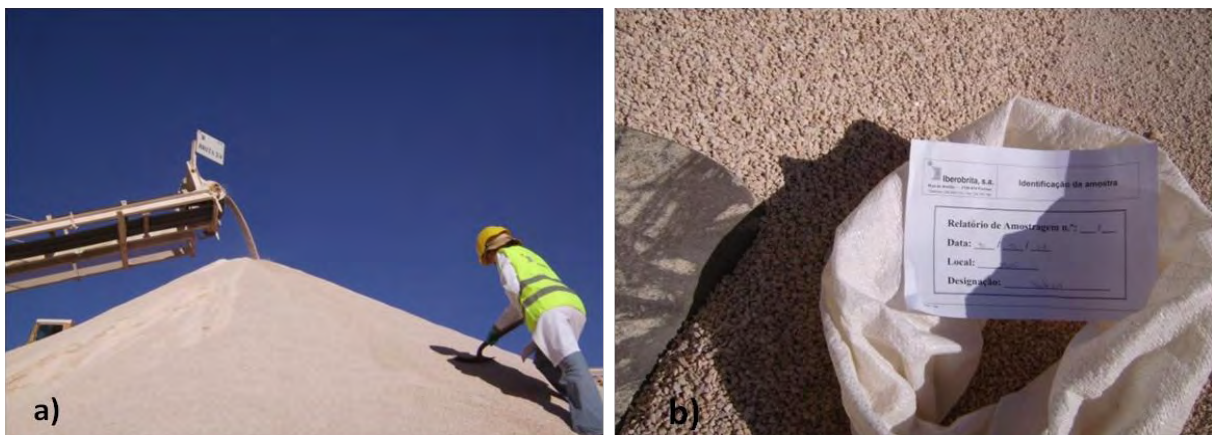
### 3.6.1. Amostragem

A amostragem consiste no processo de recolha de amostras de acordo com as normas vigentes e o plano de amostragem existente no laboratório.

O plano de amostragem de cada agregado é feito com base na norma NP EN 921-1 “Ensaaios para a determinação das propriedades gerais dos agregados, Parte 1: Métodos de amostragem”.

Para cada tipo de agregado existe um plano de amostragem diferente, estes diferem na quantidade de material a recolher e no tipo de equipamento de recolha utilizado (Figura 42-a).

Aquando da recolha é preenchido um papel com a identificação da amostra (Figura 42 – b), local de amostragem e data, para que não ocorram trocas de material, sendo preenchido, ainda, um relatório de amostragem da qual constam a identificação da amostra, data de amostragem, local de amostragem, número do relatório de amostragem, condições de amostragem e quais os ensaios a realizar.



**Figura 42 - Recolha e identificação de amostras.**

- a) Recolha de material na pilha de amostragem, com a ajuda de uma pá de amostragem; b) Identificação da amostra.

Quando as amostras chegam ao laboratório é preenchido um caderno interno de amostragem onde se coloca a identificação da amostra, local de recolha, data e número da amostra.

### 3.6.2. Repartição de amostras

É uma das fases fundamentais para controlo de qualidade do produto, pois é através desta que se obtêm os provetes a ensaiar.

A repartição das amostras é feita conforme a norma NP EN 921-1 “ Ensaios para a determinação das propriedades gerais dos agregados, Parte 1: Métodos de amostragem”.

A repartição das amostras, é efectuada com a ajuda de um repartidor.

O repartidor pode utilizar-se para todo o tipo de agregados, pois é possível mudar a dimensão entre barras adequando-se desta forma a dimensão dos agregados.



**Figura 43 - Repartição da amostra, com o recurso a um repartidor.**

As amostras são reduzidas de acordo com a norma NP EN 932-2 “Ensaios das propriedades gerais dos agregados, Parte 2: Métodos de redução de amostras



laboratoriais”, de forma a obter as quantidades necessárias de provete para os diferentes ensaios a realizar.

### 3.6.3. Ensaios realizados

#### 3.6.3.1. Ensaio da análise granulométrica

A granulometria é uma das propriedades mais importantes dos agregados, pois é a base para a realização de qualquer outro ensaio. É através da análise granulométrica, que se sabe qual a dimensão máxima e mínima do agregado, logo se se trata de um agregado monogranular ou de um agregado de granulometria extensa.

A representação da análise granulométrica é traduzida pela curva granulométrica que representa graficamente a distribuição da percentagem das partículas de certa dimensão que compõem o agregado.

A análise granulométrica dos agregados é efectuada tendo em conta a norma NP EN 933-1 “ Ensaios das propriedades geométricas dos agregados, Parte 1: Análise granulométrica, Método da peneiração” e “Parte 2: Determinação da distribuição granulométrica, peneiros de ensaio, dimensão nominal das aberturas”.



**Figura 44 - Elaboração da análise granulométrica.**



O cálculo efectuado para obter a percentagem cumulativa do material passado, é dado por:

$$100 - \left( \frac{R_i}{M_i} * 100 \right)$$

Onde

$R_i$  – Massa do material retido em cada peneiro de ensaio

$M_i$  – Massa seca total da amostra

Ver Anexo II - Modelo do relatório de ensaio, do ensaio da análise granulométrica (NP EN 933-1).

A curva granulométrica relaciona a percentagem de material passado em cada peneiro com a abertura do peneiro em mm.

Através desta curva, obtêm-se a distribuição das partículas por tamanhos, permitindo identificar os materiais de maior dimensão com os de menor dimensão.

Como a Iberobrita, SA é uma empresa certificada, teve que estabelecer fusos granulométricos para os seus produtos, logo os resultados da análise granulométrica para cada produto, tem que estar de acordo com os fusos pré-estabelecidos.

A análise granulométrica é um ensaio de elevada importância, pois permite identificar se o produto está de acordo com o fuso granulométrico, e caso não esteja possibilita a sua correcção.

### **3.6.3.2. Ensaio do Equivalente de Areia**

O ensaio de equivalente de areia é um ensaio expedito que permite detectar a quantidade e a qualidade dos elementos finos associados aos materiais.

Este ensaio é aplicado aos agregados finos, na fracção 0/2mm e ao tout-venant.

Essa quantidade é medida pela altura de material fino que fica em suspensão ao fim de certo tempo de repouso, após agitação do agregado numa solução em condições

especificadas. O material grosseiro deposita-se rapidamente e o material fino fica em suspensão.

O ensaio do equivalente de areia é realizado conforma a norma NP EN 933-8, Parte 8 “Determinação do teor em finos, Ensaio do equivalente de areia”.



**Figura 45 - Provetas utilizadas na realização do ensaio do equivalente de areia.**

O valor obtido no ensaio do equivalente de areia (EA) é dado por:

$$EA = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

Sendo:

$h_1$  – altura da camada superior do floculado até à base da proveta

$h_2$  – distância entre a face inferior da cabeça do mergulhador e a fase superior do anel.

Ver Anexo III - Modelo do relatório de ensaio, do Ensaio do Equivalente de Areia (NP EN 933-8).

Os valores obtidos no 1º e 2º provete elementar não podem divergir mais de 4 unidades.

Caso o valor do equivalente de areia seja inferior a 50% tem que se realizar outro ensaio aos agregados, o ensaio do Azul-de-metileno.

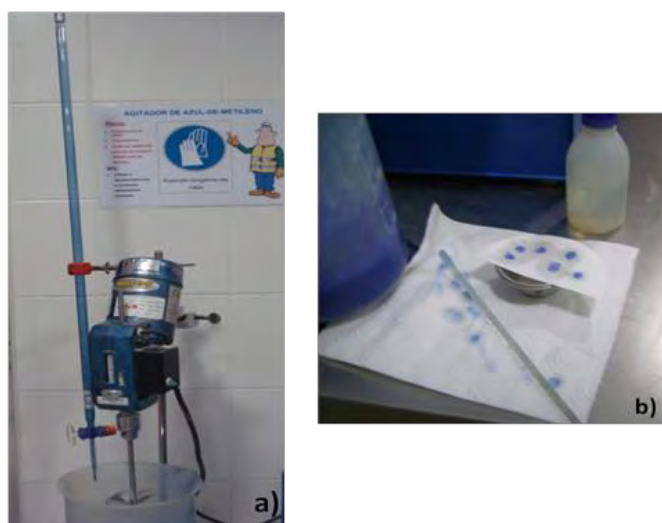
### 3.6.3.3. Ensaio do Valor de Azul-de-metileno

O ensaio de determinação do valor de azul-de-metileno permite avaliar a limpeza, qualidade e quantidade de partículas finas presentes num agregado.

A absorção do azul-de-metileno pelas partículas do agregado acontece devido a permuta iónica entre os catiões existentes na superfície das partículas e os catiões resultantes da dissociação da molécula de azul-de-metileno em solução aquosa. Devido a esta troca de iões forma-se à volta da partícula uma camada monomolecular de azul-de-metileno.

A execução do ensaio faz-se de acordo com a norma NP EN 933-9, Parte 9: “Análise dos finos: Ensaio do Azul-de-metileno”, e consiste em introduzir quantidades crescentes de solução de azul-de-metileno até que a superfície das partículas que têm capacidade de absorção esteja coberta. Nesse instante, passa a existir um excesso de azul-de-metileno na preparação, correspondendo ao ponto de viragem que marca o fim do ensaio, que será detectado pelo teste da mancha.

O teste da mancha consiste em colocar uma gota da preparação num papel de filtro e verificar se existe uma auréola azul mais clara no bordo da mancha (Figura 46-b). A presença da auréola significa que existe azul-de-metileno livre na preparação, ou seja, todas as partículas susceptíveis de absorverem azul-de-metileno estão cobertas.



**Figura 46 - Equipamento utilizado no Ensaio do Azul-de-metileno.**

**a) Agitador de azul-de-metileno; b) Teste da mancha do Ensaio do Azul-de-metileno.**

O valor de azul-de-metileno (MB) é dado por:

$$MB = \frac{V_1}{M_1} * 10$$

Em que:

$V_1$  – Volume total de solução de tintura injectada (mm)

$M_1$  – Massa da toma analítica para ensaio (g)

Ver Anexo IV - Modelo do relatório de ensaio para a determinação do Azul-de-Metileno (NP EN 933-9).

O valor de azul-de-metileno permite definir de forma eficaz a maior ou menor sensibilidade à água, isto é, o maior ou menor grau de limpeza ou a existência de materiais sensíveis à água no interior do agregado.

### **3.6.3.4. Ensaio do Índice de Achatamento**

O ensaio do índice de achatamento permite avaliar o achatamento das partículas e a sua regularidade.

Este ensaio é realizado de acordo com a norma NP EN 933-3, Parte 3 “ Determinação da forma das partículas: Índice de Achatamento” e consiste na utilização de dois tipos de peneiros.

Para a realização deste ensaio efectuam-se duas operações de peneiração. Utilizando os peneiros de ensaio, a amostra é separada em várias fracções, que serão posteriormente peneiradas em peneiros de barras (Figura 47).

O índice de achatamento, (FI) corresponde a massa total das partículas que passam nos peneiros de barras, expressa em percentagem da massa total seca das partículas ensaiadas, ou seja:

$$FI = \frac{M_2}{M_1} * 100$$

Onde

$M_1$  – Soma das massas das partículas de cada fracção da partícula  $d_i/D_i$  (g)

$M_2$  – Soma das massas das partículas em cada fracção da partícula que passa pelo peneiro de barra correspondente com o diâmetro de ranhura  $D_i/2$  (g)

Ver Anexo V - Modelo do relatório para o ensaio para a determinação do Índice de Achatamento (NP EN 933-3).



**Figura 47 - Peneiros de barras.**

### 3.6.3.5. Ensaio do Índice de Forma

O ensaio do índice de forma reflecte a relação entre o comprimento e largura do agregado.

O ensaio consiste na classificação das partículas individuais de uma amostra com base na relação entre o comprimento e a espessura utilizando um paquímetro (Figura 48).



**Figura 48 - Realização do ensaio do índice de forma com a ajuda do paquímetro.**

A realização deste ensaio é de acordo com a norma NP EN 933-4, Parte 4: “Determinação da forma das partículas – Índice de Forma.

O índice de forma (SI), obtêm-se por:

$$SI = \frac{\sum M_{2i}}{\sum M_{1i}} * 100$$

Onde:

$\sum M_{1i}$  – Soma das massas, das partículas de cada uma das fracções granulométricas ensaiadas (g)

$\sum M_{2i}$  – Soma das massas, das partículas não-cúbicas de cada uma das fracções granulométricas ensaiadas (g)

Ver Anexo VI - Modelo do relatório de ensaio para a determinação do Índice de Forma (NP EN 933-4).

### **3.6.3.6. Ensaio do Desgaste de *Los Angeles***

O ensaio de Desgaste de *Los Angeles* é necessário para determinar a resistência dos agregados à fragmentação.

O ensaio é realizado de acordo com a norma NP EN 1097-2 – Ensaios para a determinação das propriedades mecânicas e físicas dos agregados: Parte 2 “Método de determinação da resistência à fragmentação”, e permite determinar a perda por desgaste que um agregado sofre quando submetido a ensaio na máquina de *Los Angeles* (Figura 49).

Este ensaio consiste em colocar num cilindro giratório de aço, uma amostra de agregado e um certo número de esferas em aço, ambos variáveis com a granulometria do agregado a ensaiar, que roda em torno do seu eixo horizontal.

O cilindro deve efectuar, um certo número de rotações, a velocidade constante, durante as quais o material se vai desgastando e fragmentando.



**Figura 49 - Máquina de *Los Angeles*.**

O resultado do ensaio é a perda de desgaste LA, e é dada por:

$$LA = \frac{5000}{50} - m$$

Onde:

m – Massa retida no peneiro de 1.6mm

Ver Anexo VII - Modelo do relatório de ensaio para o Ensaio de *Los Angeles* (NP EN 1097-2).

### **3.6.3.7. Ensaio da Baridade e do Volume de vazios**

A baridade de um agregado é definida como a massa por unidade de volume do agregado contida num recipiente, isto é, o volume inclui os espaços entre as partículas do agregado e entre as partículas e o recipiente (este é um volume aparente maior que o volume real que as partículas ocupam).

A baridade de um agregado depende do modo como as suas partículas estão arranjadas no recipiente, ou seja, do índice de vazios da granulometria e da forma do agregado.



O ensaio da baridade é realizado de acordo com a norma NP EN 1097- 3 – Ensaaios para a determinação da propriedade mecânicas e físicas dos agregados: Parte 3: “Método para determinação da Baridade e do Volume de Vazios”.

O ensaio consiste em encher um recipiente específico de agregado seco, e pesar determinando desta forma a baridade.



**Figura 50 - Equipamento para a realização do ensaio da baridade.**

A baridade ( $\rho_b$ ) é dada por:

$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

Onde:

$m_1$  – Massa do recipiente vazio

$m_2$  – Massa do recipiente mais provete

$V$  – Capacidade do recipiente

Ver Anexo VIII - Modelo do relatório de ensaio para a determinação da Baridade e Volume de Vazios (NP EN 1097-3).

### **3.6.3.8. Ensaio da Massa Volúmica e da absorção de água**

A massa volúmica de um agregado refere-se às partículas individuais e de acordo com o tipo de agregados, as partículas podem ser densas e impermeáveis, mais ou menos porosas ou o agregado pode ser constituído por mistura de dois tipos. As partículas podem ainda conter poros ou vácuos.

Este ensaio é realizado conforme a norma NP EN 1097-6: Ensaios para a determinação das propriedades mecânicas e físicas dos agregados: Parte 6: “Método para determinação da Massa Volúmica e Absorção de Água”.

O ensaio pode ser realizado por dois métodos, o do picnómetro e o do cesto de rede metálica, dependendo da dimensão do agregado.

A massa volúmica das partículas é calculada a partir da relação entre a massa e o volume.

A massa é determinada através da pesagem do provete com as partículas saturadas com a superfície seca e a pesagem do agregado com as partículas secas em estufa.

O volume é determinado através da massa de água deslocada, quer pela redução da massa no método do cesto de rede metálica (Figura 51), quer por pesagens no método do picnómetro (Figura 52).



**Figura 51 - Equipamentos utilizados para a determinação da massa volúmica pelo método do cesto de rede metálica.**



**Figura 52 - Determinação da massa volúmica pelo método do picnómetro.**

a) Colocação do agregado no picnómetro; b) Pesagem do picnómetro com o provete e água; c) picnómetro em banho-maria.

Através deste ensaio determina-se:

- Massa volúmica do material impermeável das partículas,  $\rho_a$

$$\rho_a = \rho_w * \frac{m_4}{m_4 - (m_2 - m_3)}$$

- Massa volúmica das partículas secas em estufa,  $\rho_{rd}$

$$\rho_{rd} = \rho_w * \frac{m_4}{m_1 - (m_2 - m_3)}$$

- Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca,  $\rho_{ssd}$

$$\rho_{ssd} = \rho_w * \frac{m_1}{m_1 - (m_2 - m_3)}$$

- Absorção de água,  $Wa_{24}$

$$Wa_{24} = \frac{m_1 - m_4}{m_1} * 100$$

Onde:

$m_1$  – Massa do agregado saturado com a superfície seca ao ar;

$m_2$  – Massa do cesto/picnómetro contendo o provete de agregado saturado em água;

$m_3$  – Massa do cesto imerso em água/massa do picnómetro cheio de água;

$m_4$  – massa no ar do provete seco em estufa;

$\rho_w$  – Densidade da água a temperatura do ensaio.

Ver Anexo IX - Modelo do relatório de ensaio para a determinação da Massa Volúmica e Absorção do de água (NP 1097-6).

### 4. Ensaaios realizados a material proveniente de obra

#### 4.1. Apresentação da empresa Construções Júlio Lopes, SA

A empresa Construções Júlio Lopes teve início na década de 60, sendo o seu sector de actividade principal as obras públicas e é detentora de um grau de alvará de classe 7 em matéria de vias de comunicação.

Durante o estágio curricular, foi dada a oportunidade de ingressar na obra nº770 de Vila de Rei, na qual se realizaram os ensaios laboratoriais, necessários para o controlo de qualidade da obra.

#### 4.2. Descrição da obra

A empreitada consiste na execução da 2ª fase do lanço da EN2, entre a Vila de Rei e o IC8, nas proximidades da Sertã, a que corresponde o aproveitamento do traçado da actual EN2, com beneficiação e algumas correcções ou ripagens de curvas pontuais e introdução, quando possível de terceira via para veículos lentos.

#### 4.3. Ensaaios realizados em laboratório

Durante o decorrer da obra, foi caracterizado o material de escavações para avaliar a sua reutilização em aterros, característica controlada através do ensaio para avaliar a compactação e o teor em água no aterro.

Os valores obtidos nos diferentes tipos de ensaios, eram comparados com os valores que constam no projecto e caderno de encargo da obra para verificar a sua veracidade de forma a poder reutilizar o material de escavação para aterro.

Os ensaios realizados em laboratório com amostras colhidas em obra são a análise granulométrica, equivalente de areia, azul-de-metileno, limites de consistência, teor em água, ensaio de compactação, CBR e massa volúmica e absorção de água.

Após a recepção da amostra em laboratório, esta era catalogada e devidamente repartida para os diferentes ensaios a realizar.

### 4.3.1. Análise granulométrica

A preparação do provete para a análise granulométrica do material recolhido em obra, é efectuada de acordo com a Especificação do LNEC E 195, e realizada de acordo com a Especificação do LNEC E 196.

Seca-se o provete na estufa, lava-se rejeitando as partículas inferiores a 0.074mm, e seca-se novamente.

Após a secagem peneira-se o solo através dos peneiros da série ASTM (Figura 53) começando pelo de abertura de maior dimensão do solo até ao de menor dimensão.



**Figura 53 - Peneiros de ensaio ASTM utilizados para o ensaio da análise granulométrica.**

Terminada a peneiração, pesa-se o material retido em cada peneiro.

A percentagem cumulativa do material passado, é dado por:

$$100 - \left( \frac{R_i}{M_i} * 100 \right)$$

Onde

$R_i$  – Massa do material retido em cada peneiro de ensaio

$M_i$  – Massa seca total da amostra

Ver Anexo X - Modelo do relatório para o ensaio da Análise granulométrica (LNEC E 196).

### 4.3.2. Determinação do Equivalente de Areia

O ensaio para a determinação do equivalente de areia é realizado de acordo com a Especificação do LNEC E 199.

A fracção ensaiada é a do material que passa no peneiro de 4.76mm.



Figura 54 - Realização do ensaio do equivalente de areia.

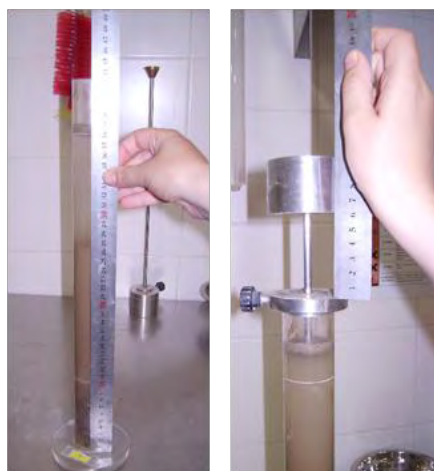


Figura 55 - Leitura do resultado do ensaio do equivalente de areia ( $h_1, h_2$ ).

O equivalente de areia determina-se por:

$$EA = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

Sendo:

$h_1$  – altura do nível superior do floculado em relação ao fundo da proveta;

$h_2$  – altura do sedimento determinada com o auxílio do pistão.

Ver Anexo XI - Modelo do relatório para o ensaio do Equivalente de Areia (LNEC E 199).

O valor de equivalente de areia obtido tem de estar de acordo como o valor que consta no caderno de encargos e projecto da obra, para que o solo possa ser utilizado.

### 4.3.3. Determinação do Azul-de-metileno

Para a realização do ensaio de azul-de-metileno utiliza-se o procedimento AFNOR 18-592.

A fracção de solo ensaiada para a determinação do azul-de-metileno, e a que é pedida tendo em conta o caderno de encargos, é a fracção passada no peneiro de 0.074mm.



Figura 56 - Realização do Ensaio do azul-de-metileno.

a) Agitador do azul-de-metileno; b) Adição de azul-de-metileno ao solo; c) teste da mancha.



O valor de azul-de-metileno é dado por:

$$V_{AM} = \frac{V}{m}$$

Onde:

V – Volume total introduzido

m – Massa seca da amostra

Ver Anexo XII - Modelo do relatório de ensaio para o Ensaio do Azul-de-Metileno (Afnor 18-592).

O valor obtido tem que estar dentro dos parâmetros definidos pelo caderno de encargos e projecto da obra.

#### 4.3.4. Determinação dos Limites de Consistência

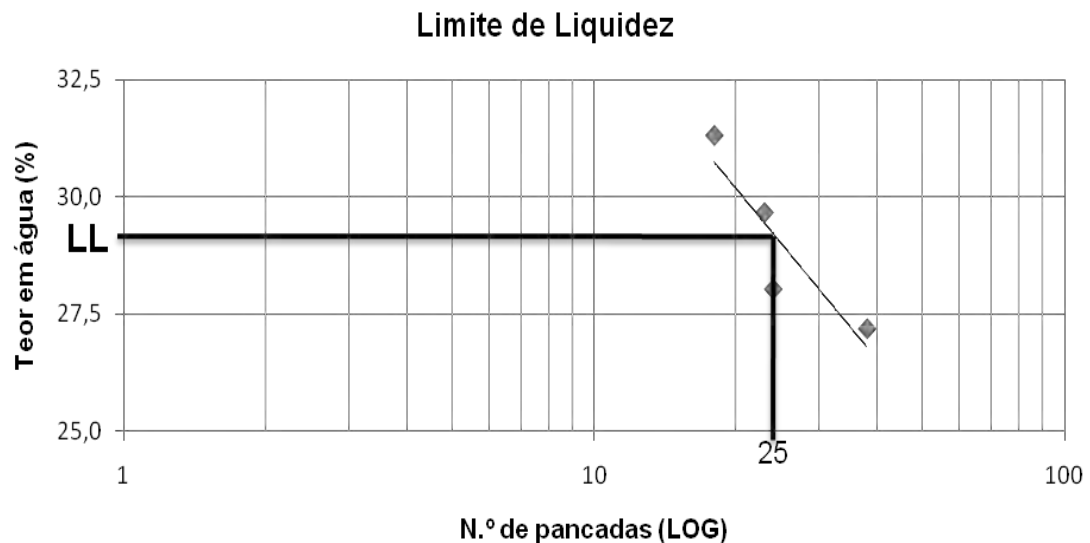
A determinação dos limites de consistência é efectuada de acordo com a norma NP-143, na qual se determina o limite de liquidez e o limite de plasticidade.

O limite de liquidez é o teor em água para o qual o solo se passa a comportar como um líquido. De acordo com a norma NP-143 o solo apresenta um comportamento “fluido” quando sujeito a 25 pancadas na Concha de Casagrande.



**Figura 57 - Realização do ensaio para a determinação do limite de plasticidade.**

O valor do limite de liquidez é o teor em água correspondente a 25 golpes, obtido por interpolação na curva do gráfico obtido (Figura 58).



**Figura 58 - Gráfico representativo do cálculo do limite de liquidez.**

O limite de plasticidade é o teor em água, abaixo do qual não é possível moldar o solo, ou seja, verifica-se quando não se consegue moldar cilindros com cerca de 3mm de diâmetro entre a palma da mão e a placa de vidro.

O valor do limite de plasticidade é dado por:

$$LP = \frac{\sum h}{4}$$

Onde:

LP – Limite de plasticidade

h – Teor em água de cada provete de ensaio

Ver Anexo XIII - Modelo do relatório de ensaio para a determinação dos Limites de Consistência (NP 143).

Após o cálculo do limite de liquidez e plasticidade é possível determinar o Índice de Plasticidade que é dado por:

$$IP = LL - LP$$

Sendo:

IP – Índice de plasticidade

LL – Limite de liquidez

LP – Limite de plasticidade.

O índice de plasticidade define a zona em que o material a analisar se pode encontrar, ou seja, se é um material francamente plástico, medianamente plástico ou altamente plástico.

#### **4.3.5. Determinação do Teor em água**

O ensaio para a determinação do teor em água realiza-se conforme a norma NP 84.

É um ensaio importante para a realização de outros ensaios, como por exemplo, o ensaio de compactação.

Através deste ensaio sabe-se a quantidade média de água presente no solo, e calcula-se através da seguinte expressão:

$$T_{\text{água}} = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} * 100$$

Onde:

$m_1$  – Massa do recipiente;

$m_2$  – Massa do recipiente + provete antes da secagem;

$m_3$  – Massa do recipiente + provete após secagem.

Ver Anexo XIV - Modelo do relatório de ensaio para a determinação do Teor em Água (NP 84).

### 4.3.6. Massa Volúmica e Absorção de Água

Para a determinação da massa volúmica e Absorção de água utilizam-se, dependendo da dimensão do agregado, duas normas a NP-954 e a NP-581.

Utiliza-se a norma NP-954, para o provete de dimensão inferior a 4.75mm e a norma NP-581, para o provete de dimensão superior ou igual a 4.75.

Através do ensaio para a determinação da massa volúmica e absorção de água, segundo a norma NP954, determina-se:

- Massa volúmica do material impermeável das partículas:

$$\frac{m_3}{m_3 + m_4 - m_2}$$

- Massa volúmica das partículas secas

$$\frac{m_3}{m_1 + m_4 - m_2}$$

- Massa volúmica das partículas saturadas

$$\frac{m_1}{m_1 + m_4 - m_2}$$

- Absorção de água

$$\frac{m_1 - m_3}{m_3} * 100$$

Onde:

$m_1$  – Massa do provete com as partículas saturadas sem água superficial;

$m_2$  – Massa do balão com o provete e água;

$m_3$  – Massa do provete seco;

$m_4$  – massa do balão com água;

Os cálculos a efectuar segundo a norma NP581 são:

- Massa volúmica do material impermeável das partículas

$$\frac{m_3}{m_3 - m_2} * \rho$$

- Massa volúmica das partículas secas

$$\frac{m_3}{m_1 - m_2} * \rho$$

- Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca,  $\rho_{ssd}$

$$\frac{m_1}{m_1 - m_2} * \rho$$

- Absorção de água

$$W_{A24} = \frac{m_1 - m_3}{m_3} * 100$$

Onde:

$m_1$  – Massa do provete com as partículas saturadas;

$m_2$  – Massa do provete imerso;

$m_3$  – Massa do provete seco;

$\rho$  – Massa volúmica da água à temperatura do ensaio.

Ver Anexo XV - Modelo do relatório de ensaio para a determinação da Massa Volúmica e Absorção de Água (NP 581). e Anexo XVI - Modelo do relatório para o ensaio da determinação da Massa Volúmica e Absorção de Água (NP 954).

### 4.3.7. Determinação do ensaio de compactação

O ensaio de compactação relaciona o teor em água e a baridade seca máxima, características essenciais para o controlo de aterros.

A compactação é um método de estabilização de solos que se dá por aplicação de energia, conferindo ao solo um aumento de seu peso específico, resistência ao cisalhamento, diminuição do índice de vazios, permeabilidade e compressibilidade.

Este ensaio é conhecido como o ensaio de Proctor, que é realizado através de sucessivos impactos com determinada energia no provete de ensaio.

Através da análise do teor em água define-se o teor em água com o qual se deve realizar a compactação, para uma dada energia, para melhorar o arranjo das partículas, a baridade seca máxima permite avaliar a qualidade de execução do aterro.

O ensaio de compactação é realizado de acordo com a especificação LNEC E 197.

A baridade do ensaio de proctor é dada por:

$$\gamma_s = \frac{\gamma_w}{100 + w} * 100$$

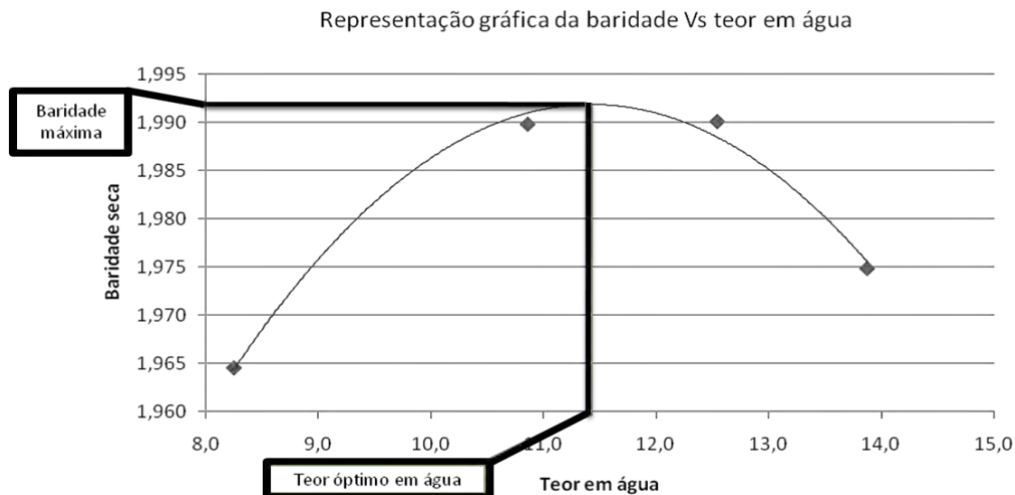
Onde:

$\gamma_s$  – Baridade do solo

$\gamma_w$  – Baridade húmida do solo

w – Teor em água

O objectivo da realização do ensaio de compactação é a determinação da curva de compactação, que expressa a variação da baridade seca do solo compactado com o teor em água utilizado na compactação do solo (Figura 59).



**Figura 59 - Representação gráfica do ensaio de compactação, através do qual se interpola o valor da baridade máxima e o teor ótimo em água**

Ver Anexo XVII - Modelo do relatório de ensaio para o ensaio de compactação, Proctor (LNEC E 197).

#### 4.3.8. Ensaio do C.B.R.

O principal objectivo do ensaio CBR é a obtenção de elementos para o dimensionamento de pavimentos, sendo possível avaliar a capacidade de suporte do solo.

O valor do ensaio CBR depende da baridade, teor de água usado na compactação e do teor de água natural.

Este ensaio é realizado em laboratório de acordo com a Especificação do LNEC E 198.

O cálculo do CBR é dado por:

$$CBR = 100 * \frac{x}{y}$$

Sendo:

x – Força correspondente a uma dada penetração no provete no solo;

y – Força correspondente à mesma penetração num provete padrão.



Ver Anexo XVIII - Modelo do relatório de ensaio para o ensaio de CBR (LNEC E 198).

### 4.3.9. Ensaio de compressão do betão

O ensaio de compressão do betão realiza-se em laboratório de acordo com a especificação do LNEC E 226, após a recolha da amostra efectuada conforme a norma NP 87.

Quando os cubos de betão chegam ao laboratório são colocados no tanque de cura (Figura 60- a), entre 7 a 28 dias, conforme o determinado no caderno de encargos.

Decorridos os dias, para a cura do betão, estes são retirados do tanque e colocados na prensa de betão (Figura 60- b), de forma a obter-se a força de rotura e a tensão de rotura.

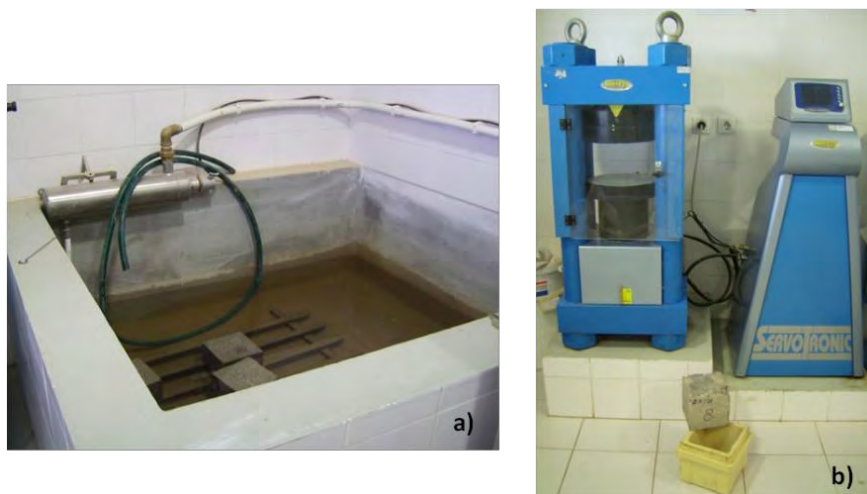


Figura 60 - Equipamento utilizado para a compressão dos cubos de betão.

a) Cubos de betão no tanque de cura; b) Prensa utilizada para a realização do ensaio de compressão do betão.

A tensão de rotura dos cubos de betão, calcula-se por:

$$T = \frac{F}{A}$$

Em que:

F – Força de rotura

A – Área de secção recta.

Ver Anexo XIX - Modelo do relatório para o ensaio da Compressão do Betão (LNEC E 226).

#### 4.4. Ensaio realizado *in situ*

Durante o estágio, houve a oportunidade de realizar um ensaio *in situ* para a determinação do grau de compactação e teor em água do solo durante a realização de um aterro, utilizando a Sonda Nuclear.

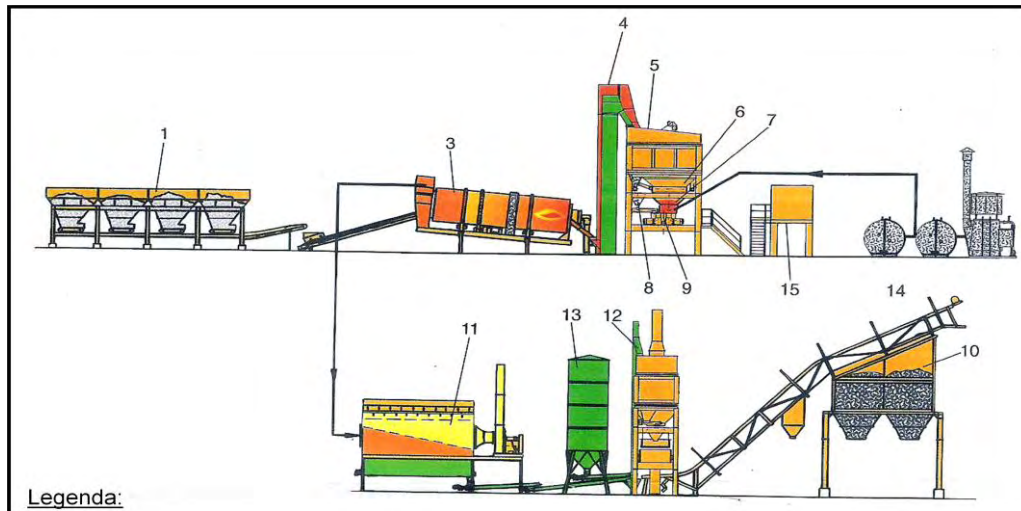


**Figura 61 - Sonda nuclear, utilizada para ver a compactação do solo e teor em água.**

#### 4.5. Central de Misturas Betuminosas

As centrais betuminosas são instalações industriais onde os agregados, betume e aditivos são misturados de forma a produzir diversos tipos de misturas betuminosas.

As centrais betuminosas descontínuas (Figura 62) possuem uma torre de crivagem, onde existem crivos com malhas de varias dimensões que seleccionam e separam os agregados por tamanhos, sendo depois depositados em silos. Depois de pesados, os agregados, o betume e o filer são descarregados num misturador, onde é feita a mistura de todos os componentes, sendo depois depositada num silo, que através da abertura de uma comporta carrega o camião com a mistura betuminosa.



- |                           |                                 |                       |
|---------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| 1. Tremonha pré-doseadora | 6. Silo de agregados            | 11. Filtro de mangas  |
| 2. Tapete de alimentação  | 7. Silo de pesagem de agregados | 12. Elevador de filer |
| 3. Tambor secador         | 8. Silo de pesagem de filer     | 13. Silo de filer     |
| 4. Elevador de quentes    | 9. Misturadora                  | 14. Tanque de betume  |
| 5. Crivo                  | 10. Silo de produto acabado     | 15. Cabine de comando |

**Figura 62 - Central de misturas betuminosas.**

A empresa Construções Júlio Lopes possui uma central de misturas betuminosas MARINI MAP 175 do tipo descontínuo com capacidade de produção estimada de 1700ton (Figura 63).



**Figura 63 - Vista geral da central de misturas betuminosas.**

O processo produtivo das misturas betuminosas consiste na:

- Recepção e armazenamento da matéria-prima (Figura 64), monitorização dos materiais, conforme definido no plano de inspecções e ensaios;
- Pré-dosagem dos agregados (Figura 65);
- Secagem dos agregados (Figura 66);
- Selecção e dosagem dos constituintes da mistura (Figura 67);
- Mistura para a produção de Betão Betuminoso (Figura 68);
- Descarga e armazenamento de Betão Betuminoso (Figura 69), monitorização do produto final, conforme definido no plano de inspecções e ensaio;
- Expedição (Figura 70).



**Figura 64 - Armazenamento dos materiais.**

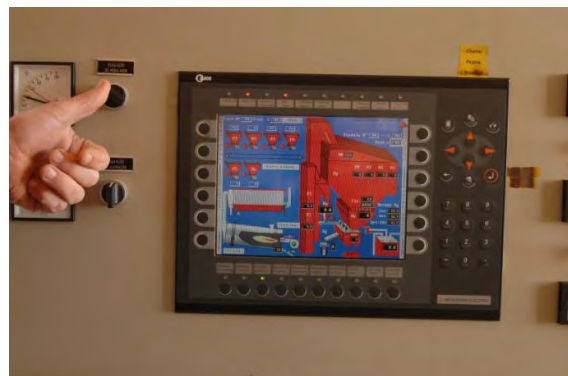


**Figura 65 - Abastecimento dos silos do sistema pré-doseador.**





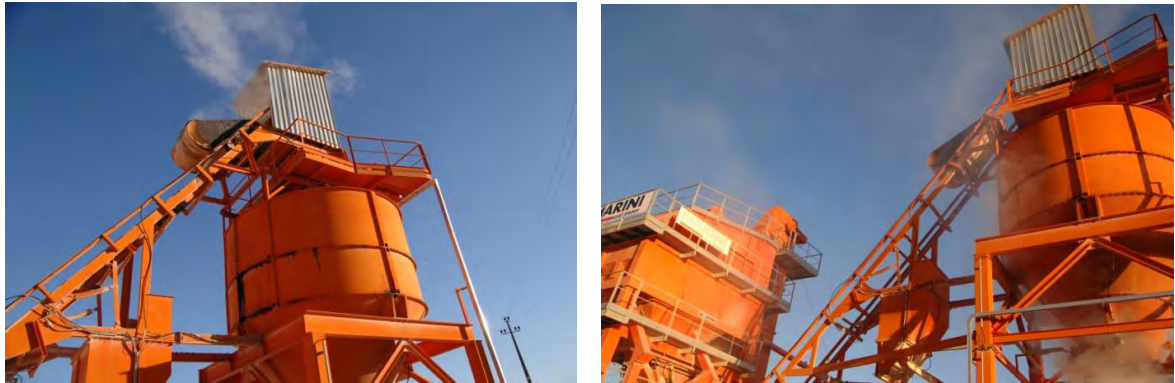
**Figura 66 - Secador de agregados.**



**Figura 67 - Sistema de controlo da central de misturas betuminosas.**



**Figura 68 - Grupo reseleccionador-doseador-misturador.**



**Figura 69 - Descarga e armazenamento do Betão Betuminoso.**



**Figura 70 - Expedição do produto.**

A central é composta por vários componentes, entre eles os depósitos de betume e de fuel oil e uma cabine onde é feito o controlo automático de toda a produção, através de um computador/painel que dispõem de todas as informações necessárias e a qualquer momento pode fazer ajustes nas quantidades utilizadas.

Na torre de crivagem é feita a reclassificação dos agregados, realizando a separação dos materiais nas fracções necessárias.

No misturador é feita a mistura de todos os componentes da mistura betuminosa, que é largada num “skipper” que a levará para um silo de armazenamento, que fará a descarga para os camiões.

Existe na central de misturas betuminosas, um pequeno estaleiro, onde se encontram os agregados para a realização das misturas betuminosas.

Com o auxílio de uma pá carregadora, os diferentes tipos de agregados são colocados em silos para posteriormente comporem a mistura betuminosa.

### **4.5.1. Determinação da percentagem de superfícies esmagadas e partidas nos agregados grossos de seixo.**

O ensaio realiza-se em agregado de seixo, e serve para as classificar manualmente em partículas esmagadas ou partidas e em partículas arredondadas.

É um ensaio com especial importância, quando o agregado é aplicado em misturas betuminosas, isto porque os agregados de forma cúbica e arestas vivas, obtidos por britagem, apresentam uma resistência mais elevada ao atrito do que os agregados de forma arredondada.

Este ensaio realiza-se de acordo com a norma NP EN 933-5 “ Determinação da percentagem de superfícies esmagadas e partidas nos agregados grossos”.

O provete é peneirado e as partículas da mesma dimensão são manualmente seleccionadas em partículas totalmente esmagada ou partida, partícula esmagada, em partícula completamente arredondada, de forma a calcular a percentagem de material esmagado e partido.

Ver Anexo XX - Modelo do relatório de ensaio para a determinação da Percentagem de material esmagado e partido (NP EN 933-5).

### **4.5.2. Ensaio de misturas betuminosas realizadas em laboratório**

#### **4.5.2.1. Recolha e repartição da amostra de mistura betuminosa**

A recolha da amostra é efectuada na central com a ajuda de uma pá de amostragem para um tabuleiro (Figura 71).



**Figura 71 - Recolha de mistura betuminosa na central de misturas betuminosas.**

Assim que a amostra betuminosa chega ao laboratório, é inserida na estufa, de forma a evitar o seu arrefecimento, até ser ensaiada.

A repartição da amostra, é realizada pelo método do esquartelamento, para possibilitar a realização dos diferentes ensaios, de acordo com a norma EN 12697-28.

#### **4.5.2.2. Moldagem de provetes Marshall da mistura betuminosa**

Quando a mistura betuminosa atinge uma temperatura entre 160 a 165°C, inicia-se a técnica de moldagem dos provetes Marshall, normalmente 3 provetes, de acordo com a norma EN 12697-34.

Cada um dos provetes é moldado com um peso aproximado de 1200g.

Após a pesagem do material, este é introduzido no molde e são dadas 75 pancadas com o pilão de Marshall, em cada face (Figura 72).



**Figura 72 - Compactador utilizado na elaboração dos provetes de Marshall.**



Terminada a compactação com o pilão de Marshall, os provetes ficam a arrefecer para serem desenformados e proceder-se ao ensaio das baridades e ao “rebentamento” dos provetes na prensa de Marshall.

### **4.5.2.3. Determinação da densidade aparente dos provetes betuminosos pelo método hidrostático**

A determinação da densidade aparente dos provetes é realizada conforme a norma EN 12697-6.

A densidade aparente dos provetes é dada por:

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_1 - m_2}$$

Onde

$m_1$  – Massa do provete;

$m_2$  – Massa determinada com o provete imerso em água.

A temperatura da água é registada, pois o seu valor tem influência no factor de correcção que é introduzido para o cálculo final da baridade.

Ver Anexo XXI - Modelo do relatório de ensaio para a determinação da Densidade Aparente dos provetes betuminosos (EN 12697-6).

### **4.5.2.4. Ensaio da Compressão de Marshall para a mistura betuminosa**

O ensaio da compressão de Marshall dá indicações sobre a resistência que a mistura betuminosa oferece a compressão e à deformação pela aplicação de forças.

Através, deste ensaio, é possível determinar a força de rotura e a deformação máxima dos provetes betuminosos.

Este ensaio encontra-se especificado nas normas ASTM D1559 e na EN 12697-34.

O ensaio consiste em comprimir diametralmente os provetes da mistura betuminosa, sendo estes colocados na vertical no estabilometro e comprimidos segundo o seu diâmetro a uma velocidade constante de 50mm/min, levando-os a rotura.

A força máxima medida no momento da rotura é designada por “estabilidade Marshall” (Kgf) e caracteriza a resistência mecânica da mistura.

Antes de se submeterem os provetes na prensa de Marshall, estes são colocados em banho-maria a temperatura de 60°C, durante aproximadamente 30min. Passado este tempo os provetes são colocados um a um na prensa de Marshall (Figura 73).

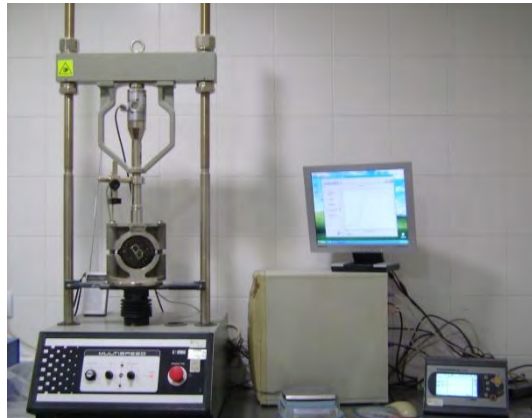


Figura 73 - Prensa de Marshall.

#### **4.5.2.5. Determinação da percentagem de betume da mistura betuminosa**

Os métodos mais utilizados para a determinação da percentagem de betume de uma mistura betuminosa são o método do refluxo, método da mufla e o método da centrifugação.

Os métodos mais utilizados, neste laboratório, são o método da mufla e o método da centrifugação que são realizados de acordo com as normas ASTM D 2172; EN 12697-1 (centrifugadora) e EN 12697-39 (Mufla).

O método de determinação da percentagem de betume pelo método da mufla, tem uma duração de 30 a 50min. A amostra é colocada na mufla (Figura 74) e ao fim do tempo a mufla emite um talão com o resultado final, ou seja, com a percentagem de betume que a mistura betuminosa contém.

Ver Anexo XXII - Modelo de relatório de ensaio para a determinação da Percentagem de Betume pelo Método da Mufla (12697-39).



**Figura 74 - Mufla utilizada para a determinação da percentagem de betume.**

O método de determinação da percentagem de betume pelo método da centrifugação (ASTM D2172), o mais utilizado, consiste na lavagem da mistura betuminosa com o toluol, que é um álcool com capacidade de dissolver o betume dos agregados.

O provete de betuminoso é pesado e colocado na cuba da centrifugadora (Figura 75-a), onde fica a marinar em toluol durante aproximadamente 30min.

Após os 30min, a amostra é colocada na centrifugadora a 3300rot/min, continuando-se a acrescentar toluol e a centrifugar até que o liquido de saída da centrifugadora não apresenta-se coloração (Figura 75- b).

Quando o liquido de saída, tomava uma tonalidade clara, a centrifugação estava concluída, a amostra era retirada, seca e finalmente pesada (Figura 75- c).



**Figura 75 - Determinação da percentagem de betume pelo método da centrifugação.**

a) Cubra da centrifugador, com a amostra betuminosa a marinar; b) Colocação do toluol na centrifugadora; c) Amostra de mistura betuminosa, após centrifugação.

O cálculo efectuado para a determinação da percentagem de betume, é dado por:

$$\%betume = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} * 100$$

Onde:

$m_1$  – Massa do extractor + filtro

$m_2$  – Massa do extractor + filtro + amostra

$m_3$  – Massa do extractor + filtro + amostra após lavagem

Ver Anexo XXIII - Modelo de ensaio para a determinação da Percentagem de Betume pelo método da Centrifugadora (ASTM 2172).

#### **4.5.2.6. Determinação da granulometria da mistura betuminosa**

Quando o ensaio da determinação da percentagem de betume, esta concluído, o provete é reaproveitado, para fazer o ensaio da determinação granulométrica da mistura betuminosa.

O provete é lavado, com um peneiro de lavagem, seco e peneirado. Após a peneiração cada fracção é pesada determinando-se a curva granulométrica da mistura betuminosa.

Este ensaio pode realizar-se de acordo com a norma NP EN 933-1 ou pela especificação do LNEC E 233.

A curva granulométrica obtida, tem de estar de acordo com o caderno de encargos da obra ou com as fichas de características técnicas do produto, pois as misturas betuminosas encontram-se certificadas pela marcação CE.

### **4.5.2.7. Elaboração de um estudo para macadame betuminoso, em laboratório, para a obra nº 770 - EN 2 – Sertã (IC8/ Vila de Rei – beneficiação entre km 3+900 e 12+900 e o Km15+00 e o 20+343)**

#### **4.5.2.7.1. Apresentação do estudo**

O estudo a apresentar pelas Construções Júlio Lopes, SA relativamente à composição das misturas betuminosas com características de macadame a quente a aplicar em obra, terá que indicar, os boletins relativos aos seguintes ensaios:

- Perda por desgaste na máquina de *Los Angeles*, para as granulometrias B, relativamente aos agregados.
- Ensaios de adesividade para cada material componente, com excepção do filer.
- Caracterização do betume a empregar na mistura, incluindo a determinação do valor da viscosidade e as temperaturas para as quais aquele valor varia entre  $170 \pm 20$  cSt (gama de temperatura de compactação).

Estes valores, são dados facultados pelo fornecedor num boletim de ensaio.

- Composição granulométrica de cada um dos materiais propostos;
- Determinação dos pesos específicos e absorção de água relativos a cada um dos agregados.
- Determinação da massa volúmica do betume.

Os valores correspondentes a massa volúmica do betume, são, facultados pelo fornecedor de betume.

- Aplicação do método de Marshall determinação da curva granulométrica da mistura de agregados, preparação dos provetes, determinação de baridades da mistura compactada, cálculo das baridades máximas teóricas (através do picnómetro de vácuo), da porosidade e valor VMA (percentagem de vazios da mistura de agregados), determinação da força de rotura e deformação dos

provetes, e ainda um traçado do conjunto de curvas características para a selecção da percentagem óptima de betume.

### **4.5.2.7.2. Recolha das matérias-primas**

As matérias-primas, utilizadas para o fabrico de Macadame betuminoso fuso A são:

- Agregados:
  - Brita 2 de calcário
  - Brita 1 de calcário
  - Pó de calcário
  
- Betume
  - Tipo 35/50

#### Recolha de agregados:

A recolha de amostras de agregados é realizada de forma a colher amostras representativas que conduzam a uma boa caracterização dos agregados em estudo.

Ao efectuar a recolha, é preenchido um relatório de amostragem, no qual consta a identificação da amostra, local de amostragem, data e número da amostra.

Após a colheita, as amostras de agregados são levadas para laboratório, onde são repartidas de forma a obter diferentes provetes para executar os ensaios pretendidos.

#### Recolha de betume:

A recolha de betume, é realizada directamente do tanque, utilizando para o efeito um recipiente próprio.

### **4.5.2.7.3. Determinação da granulometria de cada agregado**

Depois de recolhido, o agregado será submetido ao ensaio da análise granulométrica, para fazer a formulação da mistura betuminosa.

A proporção de cada agregado tem que resultar de uma curva granulométrica conforme o caderno de encargos e projecto da obra.

### **4.5.2.7.4. Ensaio de várias misturas betuminosas com diferentes percentagens de betume**

Concluída a análise granulométrica, e após a formulação da mistura os dados obtidos eram enviados para o laboratório de forma a proceder-se a realização da mistura betuminosa.

Geralmente, fazem-se três provetes de mistura betuminosa para cada percentagem de betume proposto.

O ensaio para a realização da mistura betuminosa, faz-se de acordo com a norma EN 12967-35.

Para a elaboração da mistura de betuminoso, pesa-se o betume (Figura 76- a) correspondente a percentagem pretendida e junta-se aos diferentes tipos de agregados quentes que compõem a mistura.

Em cima da placa de aquecimento, mistura-se o betume com o agregado (Figura 76- b) até se obter uma boa mistura.

Depois de feita, a mistura betuminosa, é moldada (Figura 76-c), e compactada no compactador de Marshall, para se obterem os provetes de Marshall (Figura 76- d).

Posteriormente é desenformada (Figura 76- e), para se efectuarem os ensaios para a determinação de baridades da mistura compactada, e o ensaio da compressão de Marshall (determinação da força de ruptura e deformação dos provetes).



Figura 76 - Elaboração de uma mistura betuminosa e preparação dos provetes de Marshall.

- a) Peso do betume para a elaboração da mistura betuminosa em laboratório; b) Fabrico da mistura betuminosa, em cima da placa de aquecimento; c) Colocação da mistura betuminosa nos moldes dos provetes de Marshall; d) Compactação da mistura betuminosa no compactador de Marshall; e) Desenformador do provete de Marshall.

#### 4.5.2.7.5. Determinação da baridade máxima teórica pelo método do picnómetro de vácuo

A determinação do peso específico e da baridade máxima teórica pode ser realizada através de um equipamento denominado por “picnómetro de vácuo” (Figura 77- b)

A realização do ensaio é de acordo com a norma ASTM D2041.

Após a execução da mistura betuminosa em laboratório, retira-se uma parte para a realização deste ensaio e deixa-se arrefecer, tendo o cuidado de ir desagregando as partículas que compõem a mistura betuminosa (Figura 77– a)

Coloca-se a amostra no picnómetro de vácuo, anotando-se a massa da amostra seca ao ar, adiciona-se água ao picnómetro e coloca-se a bomba a trabalhar de forma a encher todo o recipiente retirando todo o ar (Figura 77- b). Convém agitar e dar umas pequenas pancadas no picnómetro (Figura 77- d) para facilitar a libertação das bolhas de ar.





Figura 77 - Sequência de fotografias do ensaio do Picnómetro de vácuo.

- a) Aspecto da mistura betuminosa. b) Colocação de água no Picnómetro de vácuo; c) Picnómetro de vácuo montado, pronto para a realização do ensaio; d) Libertação das partículas de ar dentro do Picnómetro de vácuo com a ajuda de um martelo de borracha.

O valor da baridade máxima teórica é dado pela seguinte expressão:

$$G_A = \frac{A}{A + D - E}$$

Em que:

$G_A$  – Peso específico ou baridade máxima teórica

$A$  – Massa da amostra seca ao ar

$D$  – Massa do picnómetro cheio de água

$E$  – Massa do picnómetro cheio de água contendo a amostra

Ver Anexo XXIV - Modelo do relatório de ensaio para o Ensaio do Picnómetro de Vácuo (ASTM D 2041).

### 5. Conclusões

O controlo de qualidade da produção de agregados da Iberobrita, SA é uma das etapas fundamentais, para a obtenção da conformidade CE, e para a elaboração das fichas técnicas dos produtos.

Depois de analisadas as normas que ditam a quantidade e quais os tipos de ensaios a realizar, procede-se a sua elaboração.

As etapas fundamentais, na elaboração dos ensaios, são a recolha dos agregados e a sua repartição em laboratório, pois os ensaios só terão resultados representativos e confiáveis se estas etapas forem bem executadas.

Quando a recolha de material, é efectuada em pilha deve ter-se o cuidado de retirar o material, com a ajuda de uma pá de amostragem, ao longo de toda a pilha de forma a obter uma amostra representativa do material.

Em laboratório, a repartição das amostras, é uma etapa importante, pois é através desta que se obtêm os provetes para ensaio que terão que ser representativos de todo o material a analisar.

Todos os ensaios efectuados, para o controlo de qualidade dos agregados produzidos pela Iberobrita, SA são importantes para se ter um conhecimento do tipo de agregado produzido e controlar a sua qualidade. Caso se verifique alguma alteração das suas características, estas serão verificadas e analisadas de forma a descobrir e resolver o problema, para não colocar em causa a qualidade do produto.

A realização dos ensaios e a elaboração das folhas de cálculo, revelou-se uma tarefa fundamental para a percepção dos ensaios e seus resultados.

O controlo de qualidade em obra é uma etapa necessária e relevante para a contínua adequação de técnicas e procedimentos com vista à melhoria da qualidade e ao cumprimento do projecto e caderno de encargos da obra.

Dos ensaios realizados em laboratório para o controlo de qualidade em obra, um dos mais importantes é o ensaio da análise granulométrica, pois é através deste, que se sabe a dimensão máxima e mínima do material, característica importante para a realização de outros ensaios, como por exemplo, o ensaio de proctor.

O ensaio de proctor, é um ensaio essencial pois é através deste que se sabe qual o teor óptimo em água e a baridade seca máxima que se terá que aplicar em obra para que o material seja compactado de forma eficiente. O controlo em obra do grau de compactação e do teor em água é realizado utilizando a sonda nuclear, tendo em conta os resultados do ensaio de compactação (proctor) obtido em laboratório.

Nos dias que decorrem, um controlo de qualidade devidamente ajustado é essencial para o desenvolvimento, pois contribui de forma a garantir a funcionalidade e segurança das obras, quer durante o período de construção quer durante o período de exploração.

Os ensaios realizados a misturas betuminosas, são essenciais para a determinação da percentagem de betume e para prever o seu comportamento quando aplicadas em estradas.

A realização de um estudo de uma mistura betuminosa, foi uma experiência totalmente nova e enriquecedora, que permite a compreensão da importância de uma boa mistura betuminosa para a aplicação em estradas, de forma a prever o seu comportamento depois de aplicada.

As preocupações ambientais, o controlo dos resíduos e a reciclagem que existe no Grupo Júlio Lopes, foi uma agradável surpresa, visto existirem, em obra, em laboratório, na pedreira e nas oficinas recipientes próprios e triagem das matérias para reciclar, procedendo-se depois a sua recolha por empresas certificadas.

### 6. Bibliografia

As Boas Práticas Ambientais na Industria Extractiva — Guia do Instituto Geológico e mineiro.

Brando, F.V.M.C (2000) – Materiais Naturais de construção. Faculdade de Ciências e tecnologia da Universidade de Coimbra.

Cortes, Jean — Equipos de Extraccion Y de Preparacion de Minerales.

Daniel, F. (1999) — Manual de utilização de explosivos em explorações a céu aberto.

Fernando Pedro (2001) — Exploração de Georrecursos. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Figueiredo, C.F. (2003) — Plano de Lavra a Céu aberto — Relatório de Estágio faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Machado Leite, M.R. (1986/1987) — Fragmentação e Classificação de Rochas e Minérios — Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Regras da Boa Prática no Desmonte a Céu Aberto - Guia do Instituto Geológico Mineiro.

Wills, B. A. — Mineral Processing Technology, volume 29 — Editor: D.W. Hopkins,M.Sc.

Leite, A. J. M., 1998, “Transformação de um objecto da indústria extractiva em sistema”, Dep. Minas, FEUP.

Silva,P.R.L, “Optimização do sistema de carga e transporte da pedreira “Barrocal n,º2”.

Gomes,F.J., “ projecto de Engenharia II – Caracterização da pedreira de “Sangardão” normalização europeia e marcação CE”, 2003.

NP EN 932-1, Métodos de amostragem, 2002.

NP EN 932-2, Métodos de redução de amostras laboratoriais, 2002.

NP EN 933-1, Análise granulométrica – método de peneiração, 2000.

NP EN 933-2, Determinação da distribuição granulométrica – peneiros de ensaios, dimensão nominal das aberturas, 1999.

NP EN 933-3, Determinação da forma das partículas – Índice de achatamento, 2000.

NP EN 933-4, Determinação da forma das partículas – Índice de forma, 2002.

NP EN 933-8, Determinação do teor em finos – Ensaio do equivalente de areia, 2002.

NP EN 933-9, Análise dos finos – Ensaio de azul-de-metileno, 2000.

NP EN 1097-2, Determinação da resistência à fragmentação, 2002.

NP EN 1097-3, Determinação da baridade e do volume de vazios, 2002.

NP EN 1097-6, Determinação da massa volúmica e da absorção de água, 2003.

LNEC E 196, Análise granulométrica de solos, 1967.

LNEC E 197, Compactação pesada, 1967.

LNEC E 198, Ensaio de CBR, 1967.

LNEC E 199, Equivalente de areia, 1967.

LNEC E 233, Análise de agregados, 1970.

LNEC E 235, Agregados: Determinação da quantidade de material que passa no peneiro n.º 200 ASTM.

LNEC E 237, Ensaio de desgaste na máquina de “Los Angeles”, 1971.

NP 83, Densidade das partículas, 1965.

NP 84, Teor em água de solos e agregados, 1965.

NP 143, Limites de liquidez e de plasticidade, 1969.

NP 581, Massa volúmica e absorção de água de inertes, 1969.

NP 954, Massa volúmica e da absorção de água de areias, 1973.

Afnor 18-592, Determinação do valor de azul-de-metileno.

ASTM D 1074, Compressão simples de misturas betuminosas, 2002.

ASTM D 1075, Determinação da resistência conservada baseada na norma (adaptada a provetes de “Marshall”, 2005.

ASTM D 1559, Ensaio de Marshall, 1989.

ASTM D 2041, Determinação da baridade máxima teórica pelo método do picnómetro de vácuo, 2003.

ASTM D 2172, Determinação da percentagem de betume, por centrifugação ou pelo método do refluxo, 2005.

ASTM D 2726, Determinação da baridade de misturas compactadas.

LNEC E 226, Ensaio da compressão do betão, 1968

NP 87, Consistência do betão, 1964.

Carta topográfica nº 274/2

Carta geológica de Portugal (Folha 23-A)

Anexos

**Anexo I - Plano de inspecção e ensaio da Iberobrita, SA.**



**Tabela 3 - Plano de inspeção e ensaio da Iberobrita, SA.**

Instalação	IB 01								IB 02	IB 03				IB 04					IB 05	
Produto	Pó de pedra	Brita 05	Brita 05 (Tela)	Brita 1	Brita 2	Brita 2 (tela)	Brita 3	Brita 4	Tout-venant 1º	Pó de pedra	Brita 05	Brita 1	Brita 2	Pó de pedra	Brita 05	Brita 1	Brita 2	Brita 3	Pó de pedra (0-2mm)	Brita 2/4
<b>Análise granulométrica NP EN 933-1</b>	1/M	1/M	1/M	1/M	1/M	1/M	1/M	1/M	1/S	1/M	1/M	1/M	1/M	1/S	1/S	1/S	1/S	1/S	1/S	1/S
<b>Equivalente de Areia NP EN 933-8</b>	1/M	-	-	-	-	-	-	-	1/S	1/M	-	-	-	1/S	-	-	-	-	1/S	-
<b>Azul de metileno NP EN 933-9</b>	1/M	-	-	-	-	-	-	-	1/S	1/M	-	-	-	1/S	-	-	-	-	1/S	-
<b>Índice de achatamento NP EN 933-3</b>	-	q.n	1/M	1/M	1/M	1/M	q.n	-	-	-	q.n	1/M	1/M	-	q.n	1/M	1/M	1/M	-	q.n
<b>Índice de forma NP EN 933-4</b>	-	q.n	q.n	q.n	q.n	q.n	q.n	-	-	-	q.n	q.n	q.n	-	q.n	q.n	q.n	q.n	-	q.n
<b>Resistência à fragmentação NP EN 1097-2</b>	-	-	-	2/A	2/A	2/A	2/A	-	2/A	-	-	2/A	2/A	-	-	2/A	2/A	2/A	-	-
<b>Baridade NP EN 1097-6</b>	1/A	1/A	1/A	1/A	1/A	1/A	1/A	1/A	1/A	1/A	1/A	1/A	1/A	1/A	1/A	1/A	1/A	1/A	1/A	1/A
<b>Massa volúmica e absorção de água NP EN 1097-6</b>	2/A	2/A	2/A	2/A	2/A	2/A	2/A	2/A	2/A	2/A	2/A	2/A	2/A	2/A	2/A	2/A	2/A	2/A	2/A	2/A

1/S – Ensaio realizado uma vez por semana

1/A – Ensaio realizado uma vez por ano

q.n – Ensaio realizado quando necessário

1/M – Ensaio realizado uma vez por mês

2/A – Ensaio realizado duas vezes por ano

**Anexo II - Modelo do relatório de ensaio, do ensaio da análise granulométrica (NP  
EN 933-1)**

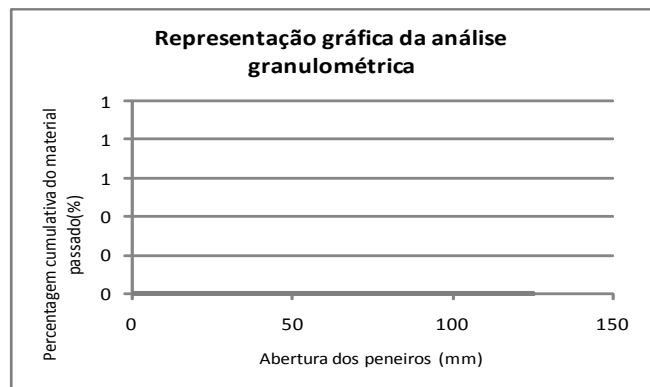
## Análise Granulométrica

<b>Norma Utilizada</b>	NP EN 933-1	<b>Data da amostra:</b>
<b>Local de recolha da amostra:</b>		<b>Relatório de amostragem n.º</b>
<b>Identificação da amostra:</b>		

Lavagem e peneiração	<input type="text"/>	Peneiração a seco	<input type="text"/>
----------------------	----------------------	-------------------	----------------------

Massa seca sem lavagem	g
Massa seca após lavagem	g
Massa seca dos finos removidos por lavagem	g

Abertura dos peneiros (mm)	Material retido		% cumulativa do material passado
	R <sub>i</sub> (g)	% R <sub>i</sub>	
125			
63			
45			
40			
31,5			
22,4			
20			
16			
14			
12,5			
11,2			
10			
8			
6,3			
5,6			
4			
2			
1			
0,5			
0,25			
0,125			
0,063			
Fundo			
Somatório			



Percentagem de finos que passa no peneiro de 63 µm	%
--	---

Veracidade do ensaio	<1
----------------------	----

Observações
-------------

Elaboração:	Verificação:
-------------	--------------

**Anexo III - Modelo do relatório de ensaio, do Ensaio do Equivalente de Areia (NP EN 933-8).**

## Equivalente de Areia

<b>Norma Utilizada</b>	NP EN 933-8	<b>Data da amostra</b>
<b>Local de recolha da amostra</b>		<b>Relatório de amostragem</b>
<b>Identificação da amostra</b>		n.º

	1º Provete elementar	2º Provete elementar
<b>Massa do provete elementar (g)</b>		
<b>Valor da constante do aparelho (K)</b>		
<b>Altura do nível superior do floculado em relação ao fundo da proveta, <math>h_1</math> (mm)</b>		
<b>Altura do sedimento, determinada com a ajuda do pistão, <math>h_2</math> (mm)</b>		
<b>Equivalente de areia do provete (%)</b>		

**Valor do Equivalente de Areia  
(EA)**

%

**Observações**

**Elaboração**

**Verificação**

**Anexo IV - Modelo do relatório de ensaio para a determinação do Azul-de-Metileno (NP EN 933-9).**

## Azul - de - metileno

<b>Norma utilizada</b>	933-9	<b>Data da amostra</b>
<b>Local de recolha da amc</b>		<b>Relatório de amostragem n.º</b>
<b>Identificação da amostra</b>		

<b>Fracção ensaiada (mm)</b>	
------------------------------	--

<b>Massa seca da toma analítica para ensaio</b>	g
<b>Volume de solução absorvida pela caulinite</b>	ml
<b>Quantidade total da solução de Azul de metileno adicionada</b>	ml

<b>Valor de Azul de metileno</b>	valor expresso em gramas de azul de metileno por Kg de fracção
----------------------------------	--

<b>Valor de Azul de metileno com adição de caulinite</b>
--

<b>Observações</b>
--------------------

<b>Elaboração</b>	<b>Verificação</b>
-------------------	--------------------

**Anexo V - Modelo do relatório para o ensaio para a determinação do Índice de Achatamento  
(NP EN 933-3).**



## Índice de Achatamento

Norma Utilizada	NP EN 933-3	Data da amostra
Local de recolha da amostra		Relatório de amostragem n.º
Identificação da amostra		
Massa da toma analítica, $M_0 =$	g	Massa retida no peneiro de 80mm (g) Massa que passa no peneiro de 4mm (g) Soma das massas eliminadas (g)

Peneiração em peneiros utilizados na marcação CE		Peneiração em peneiros de barra		Fl <sub>i</sub> (%)
Fracção da partícula (mm)	Massa (R <sub>i</sub> ) da fracção retida da partícula d <sub>i</sub> /D <sub>i</sub> (g)	Diâmetro nominal da ranhura do peneiro de barra (g)	Massa que passa pelo peneiro de barra (m <sub>i</sub> ) (g)	
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
31,5/40		20		
25/31,5		16		
20/25		12,5		
16/20		10		
12,5/16		8		
10/12,5		6,3		
8 10		5		
6,3/8		4		
5/6,3		3,15		
4/5		2,5		
Total		Total		

Índice de achatamento	%
-----------------------	---

Percentagem de perda após o ensaio	%
------------------------------------	---

Observações
-------------

Elaboração	Verificação
------------	-------------

**Anexo VI - Modelo do relatório de ensaio para a determinação do Índice de Forma (NP EN 933-4).**

## Índice de Forma

<b>Norma Utilizada</b>	NP EN 933-4	<b>Data da amostra</b>  <b>Relatório de amostragem</b> n.º
<b>Local de recolha da amostra</b>		
<b>Identificação da amostra</b>		

<b>Massa inicial do provete</b>	<b>g</b>
---------------------------------	----------

<b>Fracção Granulométrica <math>d_i/D_i \leq 2d_i</math> (mm)</b>	<b>Massa <math>M_1</math> (g)</b>	<b>Massa <math>M_2</math> (g)</b>	<b>Índice de forma SI (%)</b>
45/63			
31,5/45			
22,4/31,5			
16/22,4			
11,2/16			
8/11,2			
5,6/8			
4/5,6			

<b>Índice de forma (<math>Si_{xx}</math>)</b>	<b>%</b>
---	----------

<b>Observações</b>
--------------------

<b>Elaboração</b>	<b>Verificação</b>
-------------------	--------------------

**Anexo VII - Modelo do relatório de ensaio para o Ensaio de Los Angeles (NP EN 1097-2).**

## Resistência à fragmentação

### Desgaste de Los Angeles

<b>Norma utilizada</b>	NP EN 1097-2	<b>Data da amostra</b>
<b>Local de recolha da amostra</b>		<b>Relatório de amostragem</b>
<b>Identificação da amostra</b>		

<b>Massa da amostra integral</b>	g
<b>Massa da amostra laboratorial modificada</b>	g

<b>Fracção Granulométrica (mm)</b>	<b>10 - 11,2</b>	<b>11,2 - 14</b>
<b>Percentagem (%)</b>	35	65
<b>Nº de esferas</b>	11	
<b>Massa retida no peneiro de 1,6 mm, M (g)</b>		

**Coeficiente de Los Angeles, LA (%)**

**Observações**

<b>Elaboração</b>	<b>Verificação</b>
-------------------	--------------------

**Anexo VIII - Modelo do relatório de ensaio para a determinação da Baridade e Volume de Vazios (NP EN 1097-3).**

## Determinação da Baridade e do Volume de Vazios

Norma Utilizada	NP EN 1097-3	Data da amostra  Relatório de amostragem
Local de recolha da amostra		
Identificação da amostra		

Calibração do recipiente		
Massa recipiente limpo e vazio (Kg)		
Massa da placa de vidro (Kg)		
Massa recipiente (limpo e vazio) + placa de vidro + água (Kg)		
Volume do recipiente (l)		$\rho$

	1º Provete	2º Provete	3º Provete
Massa do provete (Kg)			
Massa do recipiente + provete [M <sub>2</sub> ] (Kg)			
Baridade [ $\rho_b$ ] (Kg/m <sup>3</sup> )			
volume de vazios			

Baridade média ( $\rho_b$ )	mg/m <sup>3</sup>
-----------------------------	-------------------

Percentagem de vazios (v)	%
---------------------------	---

Observações
-------------

Elaboração	Verificação
------------	-------------

**Anexo IX - Modelo do relatório de ensaio para a determinação da Massa Volúmica e  
Absorção do de água (NP 1097-6).**



## Determinação da Massa Volúmica e Absorção de Água

Norma utilizada	NP EN 1097-6	Data da amostra  Relatório de amostragem
Local de recolha		
Identificação da amostra		

Fracção granulométrica utilizada (mm) <i>Secção 7</i> (31,5-63mm)		
Massa aparente do cesto contendo o provete de agregado saturado, imerso em água, $M_2$ (g)		
Temperatura da água (°C)		$p_w =$
Massa aparente do cesto vazio imerso em água, $M_3$ (g)		
Temperatura da água (°C)		
Massa do agregado saturado com a superfície seca ao ar, $M_1$ (g)		
Massa ao ar do provete seco em estufa, $M_4$ (g)		

Massa Volúmica do material impermeável das partículas ( $p_a$ )	
---	--

Massa Volúmica das partículas secas em estufa ( $p_{rd}$ )	
--	--

Massa Volúmica das partículas saturadas com superfície seca ( $p_{ssd}$ )	
---	--

Absorção de água ( $W_{a24}$ )	
--------------------------------	--

Verificação	=
-------------	---

Observações
-------------

Elaboração	Verificação
------------	-------------

## Determinação da Massa Volúmica e Absorção de Água

Norma utilizada	NP EN 1097-6	Data da amostra  Relatório de amostragem
Local de recolha		
Identificação da amostra		

Fracção granulométrica utilizada (mm)			
Secção 8 e 9			
Massa do picnómetro contendo o provete de agregado saturado, $M_2$ (g)			
Temperatura da água (°C)		$\rho_{w=}$	
Massa do picnómetro apenas cheio de água, $M_3$ (g)			
Temperatura da água (°C)			
Massa do agregado saturado com a superfície seca ao ar, $M_1$ (g)			
Massa ao ar do provete seco em estufa, $M_4$ (g)			

Massa Volúmica do material impermeável das partículas ( $\rho_a$ )	
--	--

Massa Volúmica das partículas secas em estufa ( $\rho_{rd}$ )	
---	--

Massa Volúmica das partículas saturadas com superfície seca ( $\rho_{ssd}$ )	
--	--

Absorção de água ( $W_{a24}$ )	
--------------------------------	--

Verificação	=
-------------	---

Observações
-------------

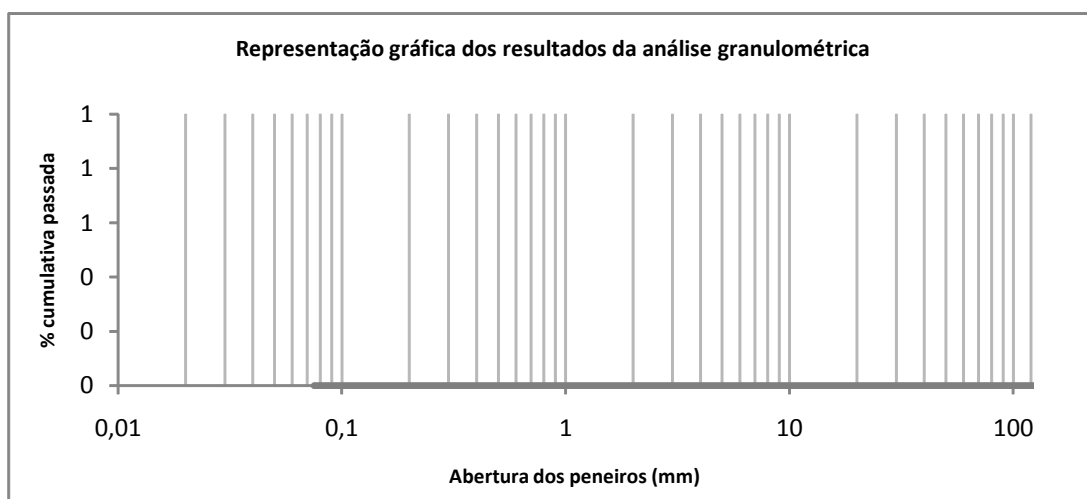
Elaboração	Verificação
------------	-------------

**Anexo X - Modelo do relatório para o ensaio da Análise granulométrica (LNEC E 196).**

## Análise Granulométrica de solos

<b>Norma utilizada</b>	LNEC E 196	<b>Data</b>
<b>Local de recolha</b>		
<b>Identificação</b>		<b>Relatório</b>
<b>Procedimento utilizado</b>		
<b>Massa da amostra</b>		
		g
<b>Massa da amostra após lavagem</b>		
		g
<b>Perca da massa na lavagem</b>		
		g

Abertura dos peneiros (mm)	Peso retido (mm)	% material retido	% cumulativa retida	% cumulativa passada
150				
90				
80				
76,1				
50				
38,1				
25,4				
19				
9,5				
4,75				
2				
0,84				
0,425				
0,105				
0,075				
<0,075				
Somatório				



<b>Observações</b>	
<b>Elaboração</b>	<b>Verificação</b>

**Anexo XI - Modelo do relatório para o ensaio do Equivalente de Areia (LNEC E 199).**

## Equivalente de Areia

### Determinação do teor em finos

Norma utilizada	LNEC E 199	Data da amostra
Local de recolha da amostra		Relatório de amostragem
Identificação da amostra		

	1º Provete elementar	2º Provete elementar
Valor da constante do aparelho (K)		
Massa do provete elementar (g)		
Altura do nível superior do floculado em relação ao fundo da provete, $h_1$ (mm)		
Altura do sedimento, determinada com a ajuda do pistão, $h_2$ (mm)		
Equivalente de areia do provete		

Valor de Equivalente de Areia (E.A)

%

Observações

Elaboração

Verificação

**Anexo XII - Modelo do relatório de ensaio para o Ensaio do Azul-de-Metileno (Afnor 18-592).**

## Azul-de-Metileno

### Análise dos finos

<b>Norma utilizada</b>	Afnor 18-592	<b>Data da amostra</b>
<b>Local de recolha da amostra</b>		<b>Relatório de amostragem</b>
<b>Identificação da amostra</b>		

<b>Fracção ensaiada (mm)</b>	
------------------------------	--

[

<b>Massa seca da toma analítica para ensaio (g)</b>	
<b>Volume de solução absorvida pela caulinite (ml)</b>	
<b>Quantidade total da solução de Azul de metileno adicionada (ml)</b>	

<b>Valor de Azul de metileno</b>	valor expresso em gramas de azul de metileno por 100g de finos
----------------------------------	--

<b>Observações</b>
--------------------

<b>Elaboração</b>	<b>Aprovação</b>
-------------------	------------------



**Anexo XIII - Modelo do relatório de ensaio para a determinação dos Limites de Consistência  
(NP 143).**

## Limites de Consistência

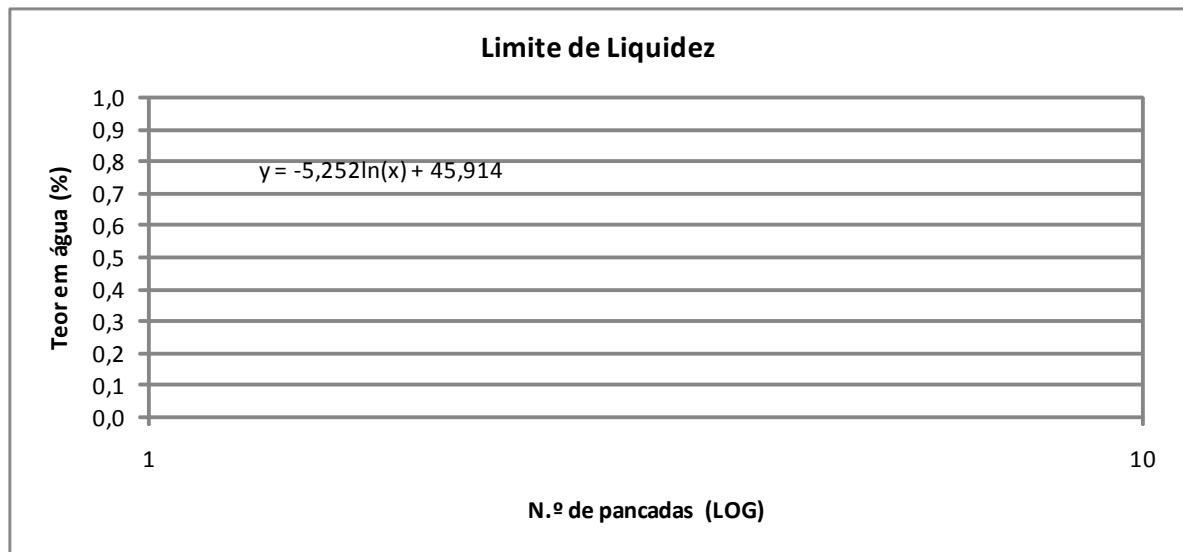
Norma Utilizada	NP 143	Data da amostra
Local de recolha da amostra		Relatório de amostragem
Identificação da amostra		

Limite de Liquidez				
Número do recipiente	1	2	3	4
Massa do recipiente (g)				
Massa do recipiente + Solo Húmido (g)				
Massa do recipiente + Solo Seco (g)				
Massa de água(g)				
Massa de solo seco (g)				
Teor em água (%) - humidade				
Número de pancadas				

Limite de Plasticidade				
Número do recipiente	1	2	3	4
Massa do recipiente (g)				
Massa do recipiente + Solo Húmido (g)				
Massa do recipiente + Solo Seco (g)				
Massa de água(g)				
Massa de solo seco (g)				
Teor em água (%)				
Média dos teores em água (%)				

Limite de liquidez	%
--------------------	---

Limite de Plasticidade	%
------------------------	---



**Índice de Plasticidade** %

Observações
-------------

Elaboração	Verificação
------------	-------------

**Anexo XIV - Modelo do relatório de ensaio para a determinação do Teor em Água (NP 84).**

## Determinação do Teor em Água

<b>Norma utilizada</b>	NP 84	<b>Data da amostra</b>
<b>Local de recolha da amostra</b>		<b>Relatório de amostragem</b>
<b>Identificação da amostra</b>		

	1º Provete	2º Provete	3º Provete
<b>Massa do recipiente (g)</b>			
<b>Massa do recipiente + Provete húmido (g)</b>			
<b>Massa do recipiente + provete seco (g)</b>			
<b>Massa do provete húmido (g)</b>			
<b>Massa do provete seco (g)</b>			
<b>Massa de água perdida (g)</b>			
<b>Teor em água do provete (%)</b>			

**Teor em água da amostra (%)**

**Observações**

<b>Elaboração</b>	<b>Verificação</b>
-------------------	--------------------

**Anexo XV - Modelo do relatório de ensaio para a determinação da Massa Volúmica e  
Absorção de Água (NP 581).**

## Determinação da Massa Volúmica e Absorção de Água de Britas e Godos

<b>Norma utilizada</b>	NP 581	<b>Data da amostra</b>
<b>Local de recolha da amostra</b>		<b>Relatório de amostragem</b>
<b>Identificação da amostra</b>		

Fracção ensaiada:

<b>Massa do provete saturado, <math>m_1</math> (Kg)</b>	
<b>Massa do provete imerso em água, <math>m_2</math> (Kg)</b>	
<b>Massa do provete seco, <math>m_3</math> (Kg)</b>	
<b>Temperatura da água do ensaio (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	
<b>Massa volúmica da água à temperatura do ensaio, <math>\rho</math> (0,001Kg/m<sup>3</sup>)</b>	

<b>Massa Volúmica do material impermeável das partículas (0,001Kg/m<sup>3</sup>)</b>	
--	--

<b>Massa Volúmica das partículas saturadas (0,001Kg/m<sup>3</sup>)</b>	
--	--

<b>Massa Volúmica das partículas secas (0,001Kg/m<sup>3</sup>)</b>	
--	--

<b>Absorção de água (0,001%)</b>	
----------------------------------	--

**Observações**

<b>Elaboração</b>	<b>Verificação</b>
-------------------	--------------------

**Anexo XVI - Modelo do relatório para o ensaio da determinação da Massa Volúmica e Absorção de Água (NP 954).**

## Determinação da Massa Volúmica e Absorção de Água

Norma utilizada	NP 954	Data de amostra
Local de recolha da amostra		Relatório de amostragem
Identificação da amostra		

Fracção ensaiada:

Massa do provete com as partículas saturadas sem água superficial, $m_1$ (g)	
Massa do balão com o provete e água, $m_2$ (g)	
Massa do provete seco, $m_3$ (g)	
Massa do balão com água, $m_4$ (g)	
Temperatura da água (°C)	
Massa volúmica da água à temperatura do ensaio, $\rho$ (0,001g/cm <sup>3</sup> )	

Massa Volúmica do material impermeável das partículas (0,001g/cm <sup>3</sup> )	
---	--

Massa Volúmica das partículas saturadas (0,001g/cm <sup>3</sup> )	
---	--

Massa Volúmica das partículas secas (0,001g/cm <sup>3</sup> )	
---	--

Absorção de água	
------------------	--

Observações
-------------

Elaboração	Verificação
------------	-------------



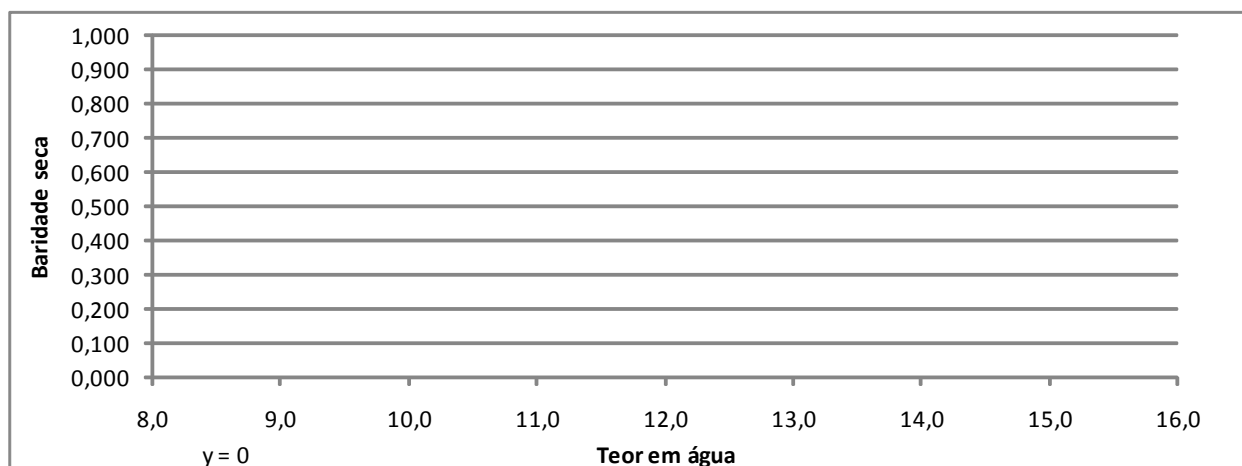
**Anexo XVII - Modelo do relatório de ensaio para o ensaio de compactação, Proctor (LNEC E 197).**

## Ensaio de Compactação

Norma	LNEC E 197	Data
Local de recolha		Relatorio de amostragem n
Identificação da amostra		

<b>Procedimento usado:</b>	Compactação pesada em molde grande	<b>Volume do molde</b>	2068,63	cm <sup>3</sup>
----------------------------	------------------------------------	------------------------	---------	-----------------

<b>Provete nº</b>						
m <sub>molde+base</sub> (g)						
m <sub>molde+base+solo húmido</sub> (g)						
m <sub>solo húmido</sub> (g)						
Baridade húmida						
<b>Recipiente nº</b>						
m <sub>recipiente</sub>						
m <sub>recipiente+solo húmido</sub>						
m <sub>recipiente+solo seco</sub>						
m <sub>solo seco</sub>						
m <sub>água</sub>						
Teor em água						
Teor em água médio						
Baridade seca						
Nº de pancadas						



<b>Baridade seca máxima (g/cm<sup>3</sup>)</b>
--

<b>Teor ótimo em água (%)</b>
-------------------------------

<b>Observações</b>
--------------------

<b>Elaboração</b>	<b>Verificação</b>
-------------------	--------------------

**Anexo XVIII - Modelo do relatório de ensaio para o ensaio de CBR (LNEC E 198).**

## Ensaio de CBR

Norma	LNEC E 198	Data
Local de recolha		Relatorio de amostragem
Identificação da amostra		

Nº do provete	1				2				3			
Nº pancadas por camada												
M <sub>molde</sub> (g)												
Volume molde vazio (Cm <sup>3</sup> )												
Altura do molde (Cm)												
M <sub>molde+solo húmido</sub> (g)												
M <sub>solo húmido</sub> (g)												
Baridade Húmida (g/Cm <sup>3</sup> )												
<b>Determinação do teor em água</b>	Antes da embebição		Após a embebição		Antes da embebição		Após a embebição		Antes da embebição		Após a embebição	
Nº do recipiente												
M <sub>recipiente</sub> (g)												
M <sub>recipiente+solo húmido</sub>												
M <sub>recipiente+solo seco</sub>												
M <sub>água</sub>												
M <sub>solo seco</sub>												
Teor em água (%)												
Teores em água do provete (%)												

Baridade seca (g/cm3)						
Baridade seca máxima(g/cm3)						
Grau de compactação (%)						

Sobrecarga (Placas)	Embebição											
Data												
Leituras (mm)												
	Após embebição											
M <sub>molde+Solo saturado</sub>												
M <sub>água absorvida</sub>												
Baridade húmida (g/cm3)												
Expansão (%)												

Observações
-------------

Elaboração	Verificação
------------	-------------

**Anexo XIX - Modelo do relatório para o ensaio da Compressão do Betão (LNEC E 226).**

# Ensaio de Compressão do betão

Norma	LNEC E 226	Relatório de amostragem
Local de amostragem		Data
Fornecedor		

Provete nº	Local de betonagem	Betão	Slump	Peso (g)	Data			Força de Rotura (KN)	Tensão de Rotura (Mpa)	Tensão média de rotura
					Fabrico	Ensaio	Idade			

Observações
-------------

Elaboração	Verificação
------------	-------------

**Anexo XX - Modelo do relatório de ensaio para a determinação da Percentagem de material esmagado e partido (NP EN 933-5).**

## Percentagem de superfícies esmagadas e partidas

<b>Norma utilizada</b>	NP EN 933-5	<b>Data</b>
<b>Local de recolha</b>		<b>Relatório de amostragem</b>
<b>Identificação da amostra</b>		

Massa inicial (g)
Massa do provete, $M_0$ (g)

Fracção granulométrica d/D onde $D \leq 2d$ (mm)	Massa, $M_1$ (g)	Massas		Percentagem	
		<b>Mc</b> (pelo menos 1 face britada) (g)	<b>Mr</b> (totalmente roladas) (g)	<b>Cc</b> (Com pelo menos 3 faces britadas) (g)	<b>Cr</b> (com menos de 3 faces britadas) (g)
45/63					
31,5/45					
22,4/31,5					
16/22,4					
11,2/16					
8/11,2					
5,6/8					
4/5,6					

<b>Percentagem de material esmagado e partido, Cc (%)</b>	
---	--

<b>Observações</b>
--------------------

<b>Elaboração</b>	<b>Verificação</b>
-------------------	--------------------



**Anexo XXI - Modelo do relatório de ensaio para a determinação da Densidade Aparente dos provetes betuminosos (EN 12697-6).**

## Densidade Aparente dos provetes betuminosos

<b>Norma</b> <span style="float: right;">EN 12697-6</span>  <b>Local de recolha</b>  <b>Identificação da amostra</b>	<b>Data</b>  <b>Relatório de amostragem</b>
--	---

<b>Procedimento usado</b>
---------------------------

Provete	1	2	3	4
Massa do provete seco, $m_1$ (g)				
Massa do provete na água, $m_2$ (g)				
Massa do provete com superfície saturada seca, $m_3$ (g)				
Temperatura da água (°C)				
Volume do provete (Cm <sup>3</sup> )				
Densidade da água à temperatura ambiente, $\rho_w$ (Kg/m <sup>3</sup> )				
Densidade aparente (Kg/m <sup>3</sup> )				

<b>Densidade Aparente, <math>\rho_{bssd}</math> (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	
--	--

<b>Observações</b>
--------------------

<b>Elaboração</b>	<b>Verificação</b>
-------------------	--------------------

**Anexo XXII - Modelo de relatório de ensaio para a determinação da Percentagem de Betume pelo Método da Mufla (12697-39).**

## Ensaio para a Determinação da percentagem de betume por ignição Método da Mufla

<b>Norma</b>	EN 12697-39	<b>Data</b>
<b>Local de recolha</b>		<b>Relatório de amostragem nº</b>
<b>Identificação da amostra</b>		

<b>Duração do ensaio (min)</b>	
<b>Peso inicial do provete (g)</b>	
<b>Peso do provete após ensaio (g)</b>	
<b>Peso do betume (g)</b>	
<b>Factor de calibração</b>	

**Teor em betume (%)**

**Percentagem de betume (%)**

**Observações**

<b>Elaboração</b>	<b>Verificação</b>

**Anexo XXIII - Modelo de ensaio para a determinação da Percentagem de Betume pelo método da Centrifugadora (ASTM 2172).**

# Ensaio para a Determinação da percentagem de betume

## Método da Centrífugadora

<b>Norma utilizada</b>	ASTM D 2172	<b>Data</b>
<b>Local de recolha</b>		<b>Relatório de amostragem nº</b>
<b>Identificação da amostra</b>		

<b>Nº de ensaio</b>			
<b>Massa da cuba + filtro (g)</b>			
<b>Massa da cuba + filtro + provete (g)</b>			
<b>Massa do provete (g)</b>			
<b>Massa da cuba+filtro+proвете após lavagem (g)</b>			
<b>Massa de betume do provete (g)</b>			
<b>Factor de calibração</b>			
<b>Percentagem de Betume (%)</b>			

<b>Observações</b>
--------------------

<b>Elaboração</b>	<b>Verificação</b>
-------------------	--------------------

**Anexo XXIV - Modelo do relatório de ensaio para o Ensaio do Picnómetro de Vácuo (ASTM D 2041).**

## Determinação da Baridade máxima teórica pelo Método do Picnómetro de Vácuo

<b>Norma utilizada</b>	ASTM D 2041	<b>Data</b>  <b>Relatório de amostragem</b>
<b>Local de recolha</b>		
<b>Identificação da amostra</b>		

<b>Massa da amostra seca ao ar</b>	<b>g</b>
<b>Massa do picnómetro cheio de água</b>	<b>g</b>
<b>Massa do picnómetro cheio de água + amostra</b>	<b>g</b>

<b>Baridade máxima teórica</b>	
--------------------------------	--

<b>Observações</b>
--------------------

<b>Elaboração</b>	<b>Verificação</b>
-------------------	--------------------